

**Yayın Geliş Tarihi: 09.08.2017**  
**Yayına Kabul Tarihi: 14.10.2017**  
**Online Yayın Tarihi: 01.12.2017**  
**DOI: 10.18613/deudfd.351634**  
**Derleme Makale (Review Article)**

**Dokuz Eylül Üniversitesi**  
**Denizcilik Fakültesi Dergisi**  
**Cilt:9 Sayı:2 Yıl:2017 Sayfa:136-161**  
**ISSN:1309-4246**  
**E-ISSN: 2458-9942**

## **KONTEYNER TERMİNALLERİNDE RIHTIM VİNCİ ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜNE YÖNELİK ÖNERİLEN MODELLER ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA\***

**Remzi FIŞKIN<sup>1</sup>**  
**Fevzi BİTİKTAŞ<sup>2</sup>**

### **ÖZET**

*Uluslararası lojistik ve tedarik zinciri sistemi içinde yer alan limanlar ulaşırma ana faaliyetinin önemli bir halkasını oluşturmaktadır. Liman operasyonları tüm lojistik süreçlerini doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. Artan limanlar arası rekabet de göz önünde bulundurulduğunda bu süreçlerin optimal hale getirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Özellikle liman operasyonlarında kullanılan rıhtım vinçlerinin verimliliği liman kapasitesi ve gemilerin limanda bekleme süresi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Buradan hareketle, rıhtım vinci operasyonlarından optimal verim elde edebilmek için birçok model önerilmiştir. Bu çalışmada, literatürde yer alan konteyner terminallerinde rıhtım vinci çizelgeleme probleminin çözümüne yönelik önerilen modellerin incelenmesi ve bu modeller üzerine tartışma yapılması amaçlanmaktadır. Yapılan bibliyometrik analiz neticesinde, önerilen modellerde kullanılan 21 farklı çözüm metodu içinde, genetik algoritmanın en sık kullanılan çözüm algoritması olduğu ortaya çıkmıştır. Yapay zekanın ise en çok tercih edilen yaklaşım tipi olduğu tespit edilmiştir. Araştırmada ayrıca hızla gelişen teknolojinin limanların altyapılarını doğrudan etkilediği, limanların daha hızlı elleçleme yapabilen vinçlere ihtiyaç duyduğu ve bu doğrultuda rıhtım vinci çizelgelemesine yönelik yenilikçi çözüm modellerinin geliştirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Rıhtım vinci, konteyner limanı, optimizasyon, çizelgeleme problemi, genetik algoritma.

\*Bu makale daha önce 1. Uluslararası Gemi ve Deniz Teknolojisi Kongresi'nde (Tuzla/İstanbul 2016) sunulmuştur.

<sup>1</sup> Araş. Gör., Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, İzmir; Ordu Üniversitesi, Fatsa Deniz Bilimleri Fakültesi, Ordu, remzi.fiskin@deu.edu.tr

<sup>2</sup> Araş. Gör., Bandırma Onyedil Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Balıkesir, fevzibitiktas@gmail.com

## **A RESEARCH ON MODELS PROPOSED FOR QUAY CRANE SCHEDULING PROBLEM IN CONTAINER TERMINALS**

### **ABSTRACT**

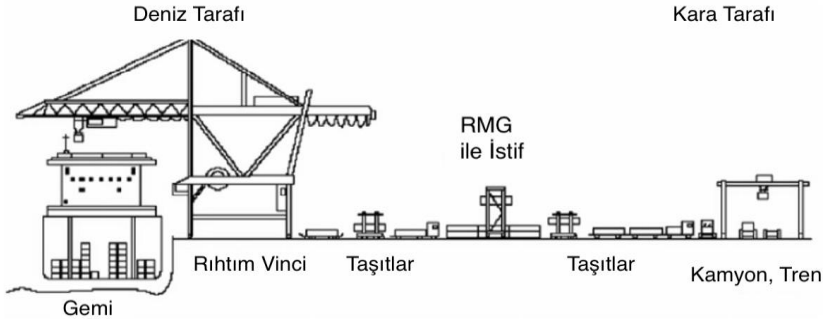
*Ports within the international logistics and supply chain system constitute an important link of transport main activity. Port operations directly and indirectly affect all logistics processes. It is necessary to optimize these processes considering the increasing inter-port competition. Especially the efficiency of quay cranes used in port operations has an important effect on the port capacity and the waiting time of the vessels in ports. Thus, many models have been proposed to obtain optimal efficiency from quay crane operations. The study aims to examine and discuss the models proposed in the literature to solve the quay crane scheduling problem in the container terminals. As a result of the bibliometric analysis, it has been understood that the genetic algorithm is the most frequently used solution algorithm in the 21 different solution methods used in the proposed models. It has also been determined that artificial intelligence is the most preferred approach. The research also reveals that the rapidly developing technology has a direct impact on the infrastructure of ports, that ports need fast handling cranes and that innovative solution models should be developed in this direction.*

**Keywords:** Quay crane, container terminal, optimization, scheduling problem, genetic algorithm.

### **1. GİRİŞ**

Uluslararası ekonomik aktivitelerin artışı ve endüstrinin küreselleşmesiyle birlikte konteyner taşımacılığı son yıllarda dünya ticaretinin en önemli parçası haline gelmiştir. Güncel istatistiklere göre toplam küresel konteyner ticaret hacmi 2015 yılında bir önceki yıla göre %2,4 artış göstererek 175 milyon TEU'ya (Twenty-foot Equivalent Units) ulaşmıştır (UNCTAD, 2016). Son 10 yılda neredeyse hacmini ikiye katlayan konteyner taşımacılığı ile birlikte konteyner terminallerinin önemi daha da artmış, terminallerdeki yük operasyonları daha karışık ve hareketli hale gelmiştir (İris vd. 2015). Konteyner terminallerindeki bu karışıklığı en aza indirmek için operasyonların verimliliğine yönelik çeşitli optimizasyon tekniklerinin geliştirilmesi gereksinimi doğmuştur. Dolayısıyla konteyner terminallerindeki verimli operasyonlara yönelik optimizasyon çalışmaları son zamanlarda çok sık çalışılan bir konu haline gelmiştir.

Konteyner terminal operasyonları gemilerin, vinçlerin, terminal traktörü ve çekicilerin, depolama alanlarının ve çalışanların yakın bir koordinasyonla çalışmalarını gerektirir (Türkoğulları vd. 2014). Şekil 1'de konteynerlerin taşıma ve elleçlenme zinciri görselleştirilmiştir. Gemiler rıhtıma yanaştıktan sonra rıhtım vinçleriyle önceden belirlenmiş bir iş çizelgesine göre yükleme boşaltması yapılır. Boşaltılan yükler saha araçlarıyla istifleme yapmak amacıyla depolama alanlarına getirilir. Daha sonra terminal traktörleri ile hinterlant dağıtımı yapılmak üzere kamyon ve/veya tren operasyon alanına taşınır (Fu ve Diabat, 2015).

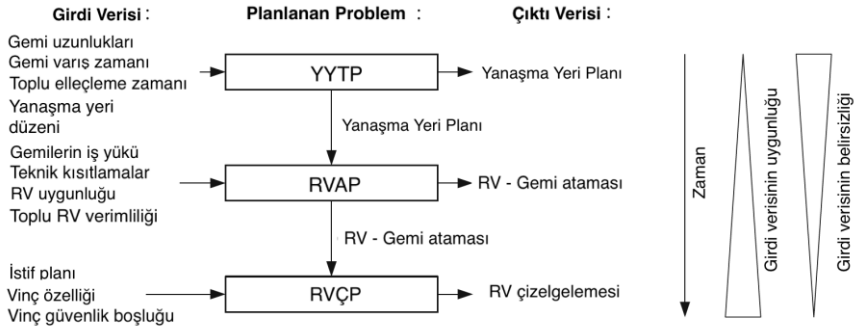


**Şekil 1:** Konteynerler İçin Operasyon Zinciri

Kaynak: Fu ve Diabat, 2015

Konteyner terminali; yanaşma yeri (berth), rıhtım (quay), saha ve kapı olarak adlandırılan dört temel alandan oluşur. Yanaşma yeri ve rıhtım deniz tarafı, saha ve kapı kara tarafı operasyonların yapıldığı alanlardır (Al-Dhaheri vd. 2016a). Operasyonda kullanılan ekipmanların, özellikle yoğun terminallerde, verimli bir şekilde kullanılması için uygun bir planlama gerekir. Bu planlamalar, gelen gemilerin yanaşma yeri ataması, rıhtım vinci ataması, saha vinci ataması, depolama alanının belirlenmesi gibi deniz ve kara tarafı kararlara yöneliktir (Tang vd. 2014). Konteyner terminallerinde deniz tarafı operasyonların (seaside operation) planlanması temelde üç başlık altında incelenmektedir. Bunlar yanaşma yeri tahsis problemi (YYTP) rıhtım vinci atama problemi (RVAP) ve rıhtım vinci çizelgeleme problemi (RVÇP) olarak sıralanmaktadır. YYTP, limana uğrayan geminin yanaşma pozisyonu ve zamanı ile ilgilidir. RVAP, rıhtıma yanaşan geminin yükleme ve boşaltma operasyonları için atanacak rıhtım vinci sayısını belirlemeyi konu alır (Iris vd. 2015). RVÇP ise her bir rıhtım vincinin belirli bir konteyner gurubuna yönelik yükleme ve boşaltma hizmeti için zaman çizelgelemesini içerir. Rıhtım vinci çizelgelemesi konteyner terminallerindeki en önemli operasyonlardan biridir (Kaveshgar ve Huynh, 2015a).

Uygulamada RVAP genel kabul görmüş yöntemlerle çözüldüğü sürece, zor bir problem olarak görülmemektedir. Bu sebeple RVAP akademik araştırmalarda daha çok YYTP ile birlikte (integrated problem) (Iris vd. 2015; Türkoğulları vd. 2014; Yang vd. 2012; Chen vd. 2012; Rodriguez-Molins vd. 2012; Rashidi ve Tsang, 2013; Aras vd. 2014; Ursavas, 2014), RVÇP ile birlikte (Fu ve Diabat, 2015; Ünsal ve Oğuz, 2013) ya da her üç problem birlikte (Meisel ve Bierwirth, 2013) ele alınarak çalışılmıştır. Bu tür çalışmalar literatürde birleştirilmiş problemler olarak geçmektedir. Ayrıca YYTP veya RVÇP'nin tek başına konu olduğu çalışmalarda bulunmaktadır. Bu problemler birbirlerini doğrudan etkilemekte olup, gemilerinin limanda bekleme süresi, liman hizmetlerinin kalitesi ve limanın rekabetçi üstünlüğü başlıkları altında ayrı bir öneme sahiptirler. Söz konusu problemlerin arasındaki ilişki Şekil 2'de görselleştirilmiştir (Bierwirth ve Meisel, 2015).



**Şekil 2:** Deniz Taraflı Operasyonların Ardışık Planlaması

Kaynak: Bierwirth ve Meisel, 2015

Bu çalışma deniz taraflı operasyonlara yönelik RVÇP konusuna odaklanmıştır. Literatürde yer alan konteyner terminallerinde RVÇP'nin çözümüne yönelik önerilen modellerin incelenmesi ve bu modeller üzerine tartışma yapılması amaçlanmaktadır. Araştırmanın metodolojisi çalışmanın ikinci kısmında sunulmuştur. Üçüncü bölümde ise konteyner terminallerinde RVÇP konusuna değinilmiştir. Literatür taramasında karşılaşılan RVÇP'ye yönelik önerilen modeller ve yaklaşımlar çalışmanın dördüncü kısmında başlıklar halinde sunulmuş ve sınıflandırılmıştır. Çalışmanın beşinci aşamasında elde edilen bulgular eşliğinde bibliyometrik bir analiz gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın son kısmında ise sonuç ve tartışma sunulmuştur.

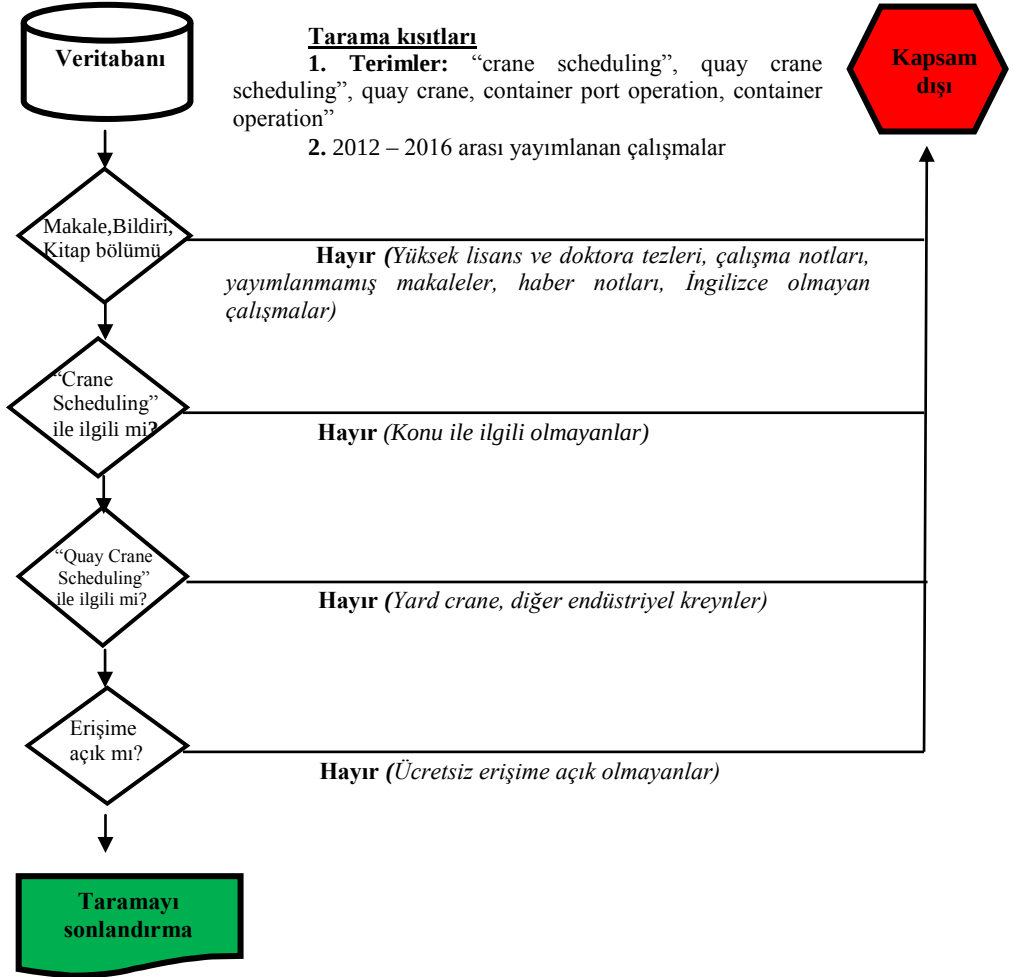
## 2. ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ

Literatür araştırması, mevcut literatürü değerlendirmek, haritasını ortaya koymak ve önemli noktaları öne çıkarmak ve tanımlamak amacı ile yapılmaktadır (Tranfield vd. 2003). Literatür araştırması çalışmaları etkili bir araç olarak sistematik ve şeffaf değerlendirme yapabilmesi için farklı adım ve kategorilere ayrılarak uygulanır. Örneğin; Seuring ve Gold (2012) çalışmalarını; materyal toplama, tanımlayıcı analizler, kategori seçimi ve materyal değerlendirmesi olarak dört adımda uygulamışlardır. Bir diğer çalışmada ise, Seuring ve Gold (2012) ve Rowley ve Slack (2004)'ten esinlenen Davarzani vd. (2016), uygun arama terimlerinin belirlenmesi, arama sonuçlarının değerlendirilmesi, bibliyometrik istatistiklerin, iletişim ağının (network) ve literatür haritasının oluşturulması adımları ile çalışmalarını biçimlendirmiştir.

Bu çalışma da benzer şekilde temel olarak dört aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, literatürde yer alan konu ile ilgili yaklaşımlar için uygun arama terimleri belirlenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. İkinci aşamada problemin çözümüne yönelik önerilmiş yaklaşımlar tiplerine göre kategorilere ayrılmış ve detaylı olarak incelenmiştir. Üçüncü aşamada bibliyometrik istatistikler, iletişim ağı ve literatür haritası oluşturulmuştur. Son aşamada ise bulguların değerlendirilmesi yapılarak çalışma sonlandırılmıştır. 2012 ve sonrası araştırmaları kapsayan bu çalışmada son ve yeni gelişmelerin ortaya konması hedeflenmiştir. Mevcut çalışmalara ulaşabilmek amacıyla Scopus, Google Akademik, DEÜ Kütüphane Arama Motoru gibi araçlar kullanılmıştır. Bunun yanında erişimi sağlanan çalışmaların referans listeleri incelenerek ilgili çalışmalar referans listesinden çekilmiştir. Arama motorlarına “crane scheduling”, “quay crane scheduling”, “quay crane”, “container port operation”, container operation” gibi terimler girilerek tarama yapılmış ve bunun sonucunda “quay crane scheduling” probleminin çözümüne yönelik 41 adet çalışmaya ulaşılmıştır. Türkiye’de yayınlanmış tezler kapsamında Ünsal (2013) yüksek lisans tezi (daha sonra makale formatında yayınlanmış ve çalışmanın literatürüne dahil edilmiştir) haricinde çalışmaya rastlanmamıştır. Diğer taraftan uluslararası alanda yayınlanmış tezlerin tamamına ulaşmanın zorluğundan dolayı yüksek lisans ve doktora tezleri bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur. Literatür taramasının doğruluğu ve güncelliğinin sağlanması amacıyla arama sonucu erişimi sağlanan çalışmalardan; makale, bildiri ve kitap bölümü kapsamı dışında kalan yüksek lisans ve doktora tezleri, çalışma notları, yayımlanmamış makaleler, ücretsiz erişime açık olmayan çalışmalar, haber notları, İngilizce olmayan çalışmalar ve 2012 yılı öncesi yapılmış çalışmalar

dışarıda bırakılmıştır. Bu amaç doğrultusunda etkili bir tarama süreci dizayn edebilmek için şu adımlar takip edilmiştir:

- Tarama terimlerinin belirlenmesi ve yapısının oluşturulması
- Erişilen çalışmaların kapsama uygunluğunun kontrolü
- Kapsama uygun çalışmaların seçilmesi



Şekil 3: Tarama kriterleri ve değerlendirme süreci şeması.

Bu çalışmada uygulanan tarama kriterleri ve değerlendirme süreci Şekil 3’te verilmektedir.

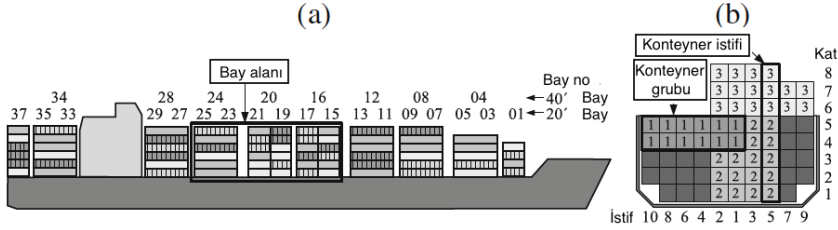
### **3. KONTEYNER TERMİNALLERİNDE RIHTIM VİNCİ ÇİZELGELEME PROBLEMİ**

RVÇ, her bir vincin gemilere göre servis sırasının zaman çizelgesini tanımlamaktadır (Tavakkoli-Moghaddam vd. 2009). RVÇP özellikle son on yılda esnek hesaplama tekniklerinin de gelişimi ile birlikte en çok araştırılan konuların başında gelmektedir (Legato ve Trunfio, 2014). RVÇP üzerine yapılan çalışmaların amacı, rıhtım vincinin yerine getireceği yükleme ve boşaltma faaliyetleri dizisini sonuçlandırma sürecini minimize etmektir (Kim ve Park, 2004).

Literatürde RVÇP yönelik ilk çalışma Daganzo (1989) tarafından yapıldığı görülmektedir. Ancak bu çalışma dönemi gereği ambarlı bir geminin her bir ambara tek bir vincin atanabileceğini (genellikle) ve bu vinçlerin herhangi bir kısıtlama olmadan hareket edebileceğini varsaymıştır. Konteyner taşımacılığının gelişmesi ile birlikte konteyner özelliği, konumsal kısıtlamaları (crossing), emniyet mesafesi (safety margin) gibi detaylı ilk bilimsel çalışma Kim ve Park (2004) tarafından yapılmıştır. Buradan anlaşılabileceği gibi RVÇP'ye yönelik çalışmalar sadece vincin belirli bir konteyner gurubunun yükleme boşaltma çizelgelemesini değil, söz konusu vinçlerin çalışma hızı, konumu, aralarındaki boşluğu, konteynerlerin türü, önceliği gibi çok daha özel konuların planlamasını da içermektedir. RVÇP çok fazla kısıt ve değişken içermektedir ve bu problemlerin optimizasyonu için literatürde çeşitli matematiksel modeller ve algoritmalar geliştirilmiştir. Örneğin Kaveshgar ve Huynh (2015b) çalışmalarında rıhtım vinçlerinin zaman uygunluğunu genetik algoritma geliştirip modellemişlerdir. Literatürde bu tür problemler RVÇP Zaman Pencere (Time Windows) (RVÇPZP) olarak geçmektedir.

RVÇP'ye yönelik bu yoğun ve karışık çalışmalar ilk kez Bierwirth ve Meisel (2010) tarafından sınıflandırılmıştır. Yazarlar çalışmalarında RVÇP'yi dört farklı özelliğe göre sınıflandırmışlardır. Önerilen sınıflandırmada RVÇP görev özelliği (task attribute), vinç özelliği (crane attribute), müdehale özelliği (interference attribute) ve performans ölçümü (performance measure) başlıkları altında incelenmiştir. Görev özelliği söz konusu gemi için iş yükünü gösteren görevlerin tanımıyla ilgilidir. Rıhtım vincine çizelgelenen görevler bay bölgesine ya da tek baylara (Şekil 4a), konteyner istiflerine, konteyner gruplarına (konteyner özelliğine göre) ya da tek başına konteynerlere (Şekil 4b) atanabilir. Görev özelliği ayrıca öncelik ilişkisi ve önalım konularını da içermektedir. Vinç özelliği, rıhtım vincinin uygunluğu, konumu ve

hareket hızını tanımlamaktadır. Müdahale özelliği, olası bir problemde rıhtım vinçlerinin konumsal kısıtlamaları (crossing) ve emniyetine (vinçler arası boşluk) değinmektedir. Dördüncü özellik performans ölçümü ise bir probleme yönelik çözümleri değerlendirme ve amaç fonksiyonunu en aza indirmeyi (süre, fayda, hareket) ele alan çalışmaları kapsamaktadır. Her bir özellik farklı bir değeri konu almaktadır.



**Şekil 4:** Bir Geminin Depolama Yapısı (a) ve Yuvarının En Kesit Görünüşü (b).

Kaynak: Bierwirth ve Meisel, 2010

Görev özellikli çizelgeleme problemleri altında incelenen konteyner gruplarına göre çizelgeleme problemleri en karışık problem olarak görülmekte olup (Ünsal ve Oğuz, 2013) öncelik ilişkisi, tek konteyner ve yuva çizelgeleme problemleriyle birlikte en çok çalışılan konular olmuştur. Müdahale özelliği altında bulunan konumsal kısıtlamalar birçok çalışmada ortak problem olup, güncel çalışmalarda emniyet boşluğu ve vinç özelliği altında incelenen rıhtım vinci yerleşme süresi problemleri de çalışılmaya başlanmıştır (Al-Dhaheri vd. 2016a).

Son yıllarda hızla gelişen teknoloji, artan yük miktarı ve deniz taşımacılığındaki maliyetleri azaltma eğilimi neticesinde gemi boyutlarında önemli derecede büyüme yaşanmıştır. Büyük gemilerin ilk etkisi ise doğal olarak limanlar üzerinde olmuştur. Yıllar boyunca artan gemi boy, en ve yüksekliğinin rıhtım verimliliğini azaltması nedeniyle rıhtım vinçlerinde hızlandırma ihtiyacı doğmuştur (Çağlar vd. 2015). Bu bağlamda rıhtım vinci çizelgelemesinde bazı yeni gelişmeler olmuştur. Örneğin iki veya üç konteyneri aynı anda elleçleyebilen eş zamanlı rıhtım vinci (Lee vd. 2014; Ku ve Arthanari, 2014) hareket edebilen hatta geminin her yanına yanaşabilen yüzer bir platforma kurulu vince yönelik çizelgemeler (Nam ve Lee, 2013; Shin ve Lee, 2013) RVÇP konusu altında yapılan yenilikçi ve rıhtım verimliliğini artırıcı çalışmalardır. Çalışmanın bundan sonraki kısmında literatürde bahsi geçen çizelgeleme problemlerine yönelik önerilmiş yöntemler sınıflandırılacaktır.



#### **4. KONTEYNER TERMİNALLERİNDE RIHTIM VİNCİ ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜNE YÖNELİK ÖNERİLEN MODELLER**

İlgili literatür incelendiğinde, RVÇP'nin çözümüne yönelik önerilmiş birçok model, teknik ve metodun olduğu karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmaların, Belirlenimci (Deterministic) Yaklaşım, Yapay Zeka Uygulamaları, Simülasyon Yaklaşımı ve Hibrit Sistemler Yaklaşımı olmak üzere temelde dört farklı yaklaşım tipine sahip olduğu saptanmıştır.

Belirlenimci (Deterministic) yaklaşım, belirli matematiksel tanımlamaları ifade eder. Bu tip yaklaşımlar problemin çözümüne yönelik yapay zeka uygulamaları ile kıyaslandığında kesin ve tam sonuçlar vermektedir, fakat çözüm süreci oldukça zaman alabilir (Tam vd. 2009).

Yapay Zeka uygulamaları, bulanık mantık (Zadeh, 1965), sezgisel yöntemler, sinir ağları vb. gibi tekniklerden oluşur. Bu tip yöntemler karmaşık problemlerin çözümünde sıklıkla kullanılır. Kısa sürede çözüme ulaşması en önemli avantajlarından biridir (Statheros vd. 2008).

Simülasyon yaklaşımı, karmaşık ve kısıtları olan sistemlerin performanslarını ölçmek için kullanılan etkili bir araçtır. Dizaynı oluşturulmuş belirli bir problemin benzetiminde kullanılır, fakat optimizasyon işlevini sağlamakta dezavantaja sahiptir (Zeng vd. 2015).

Hibrit sistemler yaklaşımı, en az iki yöntemin (bulanık yapay sinir ağları, bulanık uzman sistemler, hibrit evrimsel algoritma vb. gibi) birbirine entegre edilerek oluşturulan çözüm algoritmalarıdır (Statheros vd. 2008).

Her yaklaşım için iki örnek aşağıda açıklanmıştır. Literatürde yer alan diğer yaklaşımlar ise Tablo 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

##### **4.1. Belirlenimci (Deterministic) Yaklaşımlar**

Türkoğulları vd. (2016) çalışmalarında liman operasyonlarından; rıhtım atama, rıhtım vinci atama ve rıhtım vinci çizelgeleme problemlerinin entegrasyonu üzerine odaklanmışlardır. İlk olarak gemilerin rıhtımda bekledikleri süre boyunca rıhtım vinçlerini çizelgeleyerek kesin rıhtım zamanı ve pozisyonu veren karışık tamsayı doğrusal programlama formüle etmişlerdir. Daha sonra ayrıştırma

(decomposition) temelli etkin bir kesme düzlemi algoritması (cutting plane algorithm) önermişlerdir. Bu yaklaşım, her geminin rıhtım pozisyonları, onlara atanacak vinçlerin sayısı ve optimal rıhtım vinci çizelgeleme problemine cevap vermektedir. Bu çalışma ile vinç çizelgeleme alt probleminin NP-tam problem olduğu ispatlanmıştır. Bu yaklaşım ile yapılan hesaplamalar gerçek boyutlu örneklerde optimal sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır.

Al-Dhaheeri ve Diabat (2015) çalışmalarında RVÇP için yeni bir çözüm algoritması önermişlerdir. Bu çalışmada geminin operasyon süresinin minimuma indirilmesi amaçlanmıştır. Problemin çözümü için karışık tamsayı programlama modeli oluşturulmuş ve bu model değişik parametreler ile çoklu test edilerek geçerliliği doğrulanmıştır. Uygulanan testler, özellikle küçük boyutlu problemlerin çözümünde modelin etkin sonuçlar verdiğini ortaya çıkarmıştır.

#### **4.2. Yapay Zekâ Uygulamaları**

Kaveshgar vd. (2012) çalışmalarında NP-Tam özelliği taşıyan RVÇ problemi üzerine odaklanmışlardır. Bu sebeple, genetik algoritma (GA) kullanılarak makul zamanda çözüm sağlayabilmek için birçok uygulama yapılmıştır. Çalışmada “Global Optimization Toolbox in MATLAB 7.13” üzerindeki GA kullanılarak model geliştirilmiştir. Modelde uygulanan GA’nın etkinliğinin artırılabilmesi amacıyla (1) Sammarra vd. (2007) tarafından geliştirilen S-LOAD kuralı temelli başlangıç çözümü, (2) karar değişkenleri sayısının düşürülmesi için kromozom tanımında yeni yaklaşım ve (3) karar değişkenleri alt ve üst sınırları için yeni prosedür kullanılmıştır. Geliştirilen GA’nın etkinliğinin test edilebilmesi amacıyla Meisel ve Bierwirth (2011) tarafından geliştirilmiş karşılaştırma örnekleri kullanılmıştır. Mevcut en iyi çözümler ile karşılaştırıldığında modelin büyük problemler için optimal ve yakın-optimal çözüme daha kısa sürede ulaştığı ortaya çıkmıştır.

Chung ve Choy (2012) çalışmalarında RVÇP üzerine genetik algoritma (GA) temelli çözüm modeli önermişlerdir. Önerilen modelin etkinliğinin ölçülebilmesi için verdiği sonuçlar iyi bilinen GRASP, Tabu Search, B&B ve B&C gibi metotlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda önerilen GA modelinin küçük boyutlu örneklerde ve bazı orta boyutlu örneklerde daha iyi sonuç verdiği ortaya çıkmıştır. Bunun yanında önerilen modelin çözüm süresinin diğer mevcut yaklaşımlara göre daha hızlı olduğu tespit edilmiştir.

### **4.3. Simülasyon Yaklaşımı**

Al-Dhaheri vd. (2016a) çalışmalarında RVÇP'ye odaklanarak gemi elleçleme zamanını minimize etmek amacıyla konteyner transferi işlemleri ve rıhtım operasyonlarını içeren tüm konteyner elleçleme sürecini hesaba katarak stokastik karışık tamsayı doğrusal programlama ve simülasyon temelli genetik algoritma (GA) modeli önermişlerdir. Simülasyon temelli GA modeli, yapısı gereği dinamik bir özelliğe sahip rıhtım vinci çizelgesi oluşturmak üzere uygulanmıştır. Önerilen algoritma hem stokastik hem de deterministik deneyler için test edilmiştir. Simülasyon deneyleri algoritmanın stokastik çevrede daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Fakat stokastik çevrede deterministik çevreye göre çözüm sürecinin daha uzun olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çözümlemeli deneyler, önerilen algoritmanın genel olarak tatmin edici sonuçlar verdiğini göstermiş ve rıhtım vinci çizelgeleme performansının daha güvenilir tahminlenebilmesi için simülasyonun önemine vurgu yapmıştır.

Zeng vd. (2015) çalışmalarında ikili döngü rıhtım vinci çizelgeleme problemi için karışık tamsayı programlama modeli önermişlerdir. Önerilen model giden konteynerlerin istif planlarını ve rıhtım vinçlerinin operasyon dizilerini hesaba katarak oluşturulmuştur. Modelde bi-level genetik algoritma sezgisel metodu kullanılmıştır. Bunun yanında simülasyon modeli değerlendirme fonksiyonu ve optimizasyon algoritması akıllı karar mekanizması entegre eden simülasyon optimizasyon metodu önerilmiştir. Sayısal deneyler ikili döngü uygulamasının yükleme ve boşaltma çizelgeleme problemini ayrı olarak hesaba katan modellere göre rıhtım vinci operasyon sürecini azalttığını göstermiştir. Sonuç olarak, önerilen modelin ve algoritmanın ikili döngü rıhtım vinci problemi için etkin sonuçlar ürettiği ortaya çıkmıştır.

### **4.4. Hibrit Sistemler Yaklaşımı**

Reyes vd. (2016) çalışmalarında RVÇP için yeni bir hibrit algoritma önermişlerdir. Önerilen model iki iyi bilinen metasezgisel algoritma olan açgözlü rastgele uyarlanabilir arama prosedürü algoritması (GRASP- Greedy Randomized Adaptive Search Procedure) ve karınca kolonisi algoritması (Ant Colony Algorithm) entegrasyonundan oluşmaktadır. Deneysel sonuçlar önerilen modelin kısa sürede kaliteli sonuçlar ürettiğini ortaya koymuştur. Çalışmada, literatürde yer alan sezgisel algoritmaların küçük problem örnekleri için saniyeler içinde, orta büyüklükteki örnekler için ise saatler içinde çözüm önerdiği ifade edilmektedir. Endüstrinin kısa sürede çözümler öneren modellere ihtiyaç

duyduğunu ve önerilen hibrit algoritmanın bu talebi karşılayan süreler içinde çözümler ürettiği ortaya çıkmıştır.

Nguyen vd. (2013) çalışmalarında rıhtım vinci çizelgesi oluşturan yeni bir önceliğe dayalı (priority-based) çizelge yapısı modeli önermişlerdir. Bu amaçla, genetik algoritma (GA) ve genetik programlama (GP) temelli iki yeni hibrit evrimsel hesaplama metodu geliştirilmiştir. İki metot arasındaki temel fark belirlenen görevlerin önceliğine nasıl karar verileceğinin temsil edilmesidir. GA modeli görevlerin önceliğini belirlemede permütasyon (yer değiştirme) tekniğini kullanırken, GP ise görevlerin önceliğini hesaplama ile belirlemektedir. Aynı zamanda GA ve GP'nin önerdiği çözümlerin kalitesini arttırmak için bir lokal arama sezgiseli önerilmiştir. Önerilen hibrit evrimsel algoritması büyük yapıli karşılaştırma örnekleri ile test edilmiş ve mevcut metotlar ile karşılaştırıldığında etkili sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

**Tablo 1:** Literatürde Yer Alan RVÇP Çalışmaları (2012-2016 arası)

| Ülke       | Dergi/<br>Konferans                                                                  | Metot                                                                              | Yaklaşım     | Yayın<br>Tipi | Referans                |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|-------------------------|
| Türkiye    | European Journal of Operational Research                                             | Tam sayılı programlama                                                             | Belirlenimci | Makale        | Türkoğulları vd. (2016) |
| Hollanda   | European Journal of Operational Research                                             | “Branch-and-Price” algoritması                                                     | Belirlenimci | Makale        | Beens ve Ursavaş (2016) |
| Meksika    | Handbook of Research on Military, Aeronautical and Maritime Logistics and Operations | Rastgele uyarlanabilir arama prosedürü algoritması ve karınca kolonisi algoritması | Hibrit       | Kitap bölümü  | Reyes vd. (2016)        |
| Çin Tayvan | Neural Computing and Applications                                                    | Kaos bulut algoritması ve parçacık sürü optimizasyon algoritması                   | Hibrit       | Makale        | Li vd. (2016)           |
| BAE        | Simulation Modelling Practice and Theory                                             | Stokastik karışık tamsayı doğrusal programlama ve genetik algoritma                | Simülasyon   | Makale        | Al-Dhaheri vd. (2016a)  |

**Tablo 1:** Literatürde Yer Alan RVÇP Çalışmaları (2012-2016 arası)  
(Devamı)

| Ülke              | Dergi/<br>Konferans                           | Metot                                                       | Yaklaşım     | Yayın<br>Tipi | Referans                     |
|-------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------|---------------|------------------------------|
| Çin               | Annals and Operations Research                | Parçacık sürü optimizasyon algoritması                      | Yapay zekâ   | Makale        | Zhen vd. (2016)              |
| BAE               | Computers and Industrial Engineering          | Genetik algoritma                                           | Yapay zekâ   | Makale        | Al- Dhaheri vd. (2016b)      |
| BAE               | Annals and Operations Research                | “Lagrangian relaxation” algoritması                         | Yapay zekâ   | Makale        | Al- Dhaheri ve Diabat (2016) |
| BAE               | Procedia Computer Science                     | “Branch-and-Price” algoritması                              | Belirlenimci | Bildiri       | Kenan ve Diabat (2015)       |
| BAE               | Journal of Manufacturing Systems              | Karışık tamsayı programlama                                 | Belirlenimci | Makale        | Al-Dhaheri ve Diabat (2015)  |
| İtalya, Danimarka | Engineering Optimization                      | Karışık tamsayı programlama                                 | Belirlenimci | Makale        | Santini vd. (2015)           |
| ABD               | International Journal of Production Economics | Açgözlü (greedy) algoritma ve genetik algoritma             | Hibrit       | Makale        | Kaveshgar ve Huynh (2015a)   |
| Çin, Avustralya   | Expert System with Applications               | Genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyon algoritması | Hibrit       | Makale        | He vd. (2015)                |
| Çin, BAE          | Maritime Policy and Management                | Bi-level genetik algoritma                                  | Simülasyon   | Makale        | Zeng vd. (2015)              |
| BAE               | Optimization Letters                          | “Lagrangian relaxation” algoritması                         | Yapay zekâ   | Makale        | Theodorou ve Diabat (2015)   |
| Çin               | Optimization Letters                          | Yaklaşım algoritması                                        | Yapay zekâ   | Makale        | Liu vd. (2015)               |
| ABD               | Maritime Economics and Logistics              | Genetik algoritma                                           | Yapay zekâ   | Makale        | Kaveshgar ve Huynh (2015b)   |
| BAE               | Applied Mathematical Modelling                | “Lagrangian relaxation” algoritması                         | Yapay zekâ   | Makale        | Fu ve Diabat (2015)          |

**Tablo 1:** Literatürde Yer Alan RVÇP Çalışmaları (2012-2016 arası)  
(Devamı)

| Ülke                        | Dergi/<br>Konferans                                 | Metot                                                 | Yaklaşım     | Yayın<br>Tipi   | Referans                         |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| Çin,<br>Güney<br>Kore       | Journal of<br>Intelligent<br>Manufacturing          | Genetik<br>algoritma                                  | Yapay zekâ   | Makale          | Liang vd. (2015)                 |
| Türkiye                     | European<br>Journal of<br>Operational<br>Research   | Kesme<br>düzlemleri<br>(cutting plane)<br>algoritması | Belirlenimci | Makale          | Türkoğulları vd.<br>(2014)       |
| İsviçre,<br>Singapur        | European<br>Journal of<br>Operational<br>Research   | Karışık tamsayı<br>programlama                        | Belirlenimci | Makale          | Chen vd. (2014)                  |
| İtalya                      | A Quarterly<br>Journal of<br>Operations<br>Research | “Branching-<br>Base”<br>algoritması                   | Yapay zekâ   | Makale          | Legato ve<br>Trunfio (2014)      |
| Çin,<br>Birleşik<br>Krallık | European<br>Journal of<br>Operational<br>Research   | Parçacık sürü<br>optimizasyon<br>algoritması          | Yapay zekâ   | Makale          | Tang vd. (2014)                  |
| İspanya                     | Inteligencia<br>Artificial                          | Evrimsel<br>algoritma                                 | Yapay zekâ   | Makale          | Izquierdo vd.<br>(2014)          |
| BAE                         | Expert<br>Systems with<br>Applications              | Genetik<br>algoritma                                  | Yapay zekâ   | Makale          | Fu vd. (2014)                    |
| BAE                         | Computers<br>and Industrial<br>Engineering          | Genetik<br>algoritma                                  | Yapay zekâ   | Makale          | Diabat ve<br>Theodorou<br>(2014) |
| Türkiye                     | Operations<br>Research<br>Proceedings               | Kesme<br>düzlemleri<br>(cutting plane)<br>algoritması | Yapay zekâ   | Kitap<br>bölümü | Aras vd. (2014)                  |
| Çin, ABD                    | Engineering<br>Optimization                         | “Generalized<br>extremal”<br>optimizasyon             | Yapay zekâ   | Makale          | Guo vd. (2014)                   |
| Hollanda                    | Decision<br>Support<br>Systems                      | Kesme<br>düzlemleri<br>(cutting plane)<br>algoritması | Belirlenimci | Makale          | Ursavas (2014)                   |
| Türkiye                     | Transportation<br>Research Part<br>E                | Kısıt<br>programlama                                  | Yapay zekâ   | Makale          | Ünsal ve Oğuz<br>(2013)          |

**Tablo 1:** Literatürde Yer Alan RVÇP Çalışmaları (2012-2016 arası)  
(Devamı)

| Ülke                         | Dergi/<br>Konferans                                                       | Metot                                                                       | Yaklaşım                  | Yayın<br>Tipi | Referans                |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------|-------------------------|
| ABD, Çin                     | Annals and<br>Operations<br>Research                                      | “Time-space<br>network flow”,<br>“Lagrangian<br>relaxation”<br>algoritması  | BelirlenimciYapay<br>zekâ | Makale        | Guan vd. (2013)         |
| Yeni<br>Zelanda,<br>Singapur | Computers<br>and<br>Operations<br>Research                                | Genetik<br>algoritma,<br>genetik<br>programlama                             | Hibrit                    | Makale        | Nguyen vd.<br>(2013)    |
| İspanya,<br>Meksika          | Applied Soft<br>Computing                                                 | Hibrit dağıtım<br>tahmini<br>(estimation of<br>distribution)<br>algoritması | Hibrit                    | Makale        | Izquierdo vd.<br>(2013) |
| Hong<br>Kong                 | International<br>Journal of<br>Production<br>Research                     | Genetik<br>algoritma,<br>bulanık mantık                                     | Hibrit                    | Makale        | Chung ve Chan<br>(2013) |
| Çin                          | Computers<br>and Industrial<br>Engineering                                | Evrimsel<br>algoritma                                                       | Yapay zekâ                | Makale        | Yang vd. (2012)         |
| Çin, ABD                     | Computers<br>and<br>Operations<br>Research                                | Çok terimli<br>sezgisel                                                     | Yapay zekâ                | Makale        | Lu vd. (2012)           |
| İtalya,<br>Almanya           | Computers<br>and<br>Operations<br>Research                                | Petri Ağı                                                                   | Yapay zekâ                | Makale        | Legato vd.<br>(2012)    |
| ABD                          | Expert<br>Systems with<br>Applications                                    | Genetik<br>algoritma                                                        | Yapay zekâ                | Makale        | Kaveshgar vd.<br>(2012) |
| Norveç                       | International<br>Journal of<br>Logistics:<br>Research and<br>Applications | Genetik<br>algoritma                                                        | Yapay zekâ                | Makale        | Hakam vd.<br>(2012)     |
| Hong<br>Kong                 | Expert<br>Systems with<br>Applications                                    | Genetik<br>algoritma                                                        | Yapay zekâ                | Makale        | Chung ve Choy<br>(2012) |
| Singapur,<br>Çin             | Transportation<br>Research Part<br>E                                      | “Benders’ cut”<br>algoritma                                                 | Belirlenimci              | Makale        | Chen vd. (2012)         |

## 5. BİBLİYOMETRİK İSTATİSTİKLER

Bibliyometrik araştırmalarda, literatürde yer alan çalışmalara ilişkin özellikler incelenerek bilimsel katkı sağlaması amacıyla çeşitli veriler elde edilmektedir. Elde edilen bu veriler ile kişilerin ve kurumların etkinliği ölçülebilir (Ulu ve Akdağ, 2015). Bu çalışma takip eden verilere odaklanmaktadır: yazar, dergi, yayın yılı, ülke, model yaklaşımı tipi, metot ve yayın tipi.

Literatürde yer alan çalışmaların ülke, yazar ve metot dağılımları Tablo 2’de gösterilmektedir. Çin, Birleşik Arap Emirlikleri (BAE) ve Amerika Birleşik Devletleri (ABD) konunun en yoğun çalışıldığı ülkeler, A. Diabat (BAE) ve N. A. Dhaheri (BAE) ise en çok katkı yapan yazarlar olduğu tespit edilmiştir. Modellerde kullanılan 21 farklı çözüm metodu içinde Genetik Algoritma en sık kullanılan çözüm algoritması olduğu ortaya çıkmıştır.

**Tablo 2: Ülke, Yazar ve Metot İstatistiksel Dağılım**

| Ülke             | (f)       | %          | Yazar                   | (f)       | %          | Metot                              | (f)       | %          |
|------------------|-----------|------------|-------------------------|-----------|------------|------------------------------------|-----------|------------|
| Çin              | 12        | 21,8       | A. Diabat (BAE)         | 10        | 10,75      | Genetik algoritma                  | 14        | 29,16      |
| BAE              | 10        | 18,8       | N. A. Dhaheri (BAE)     | 4         | 4,30       | Tamsayılı programlama              | 5         | 10,41      |
| ABD              | 6         | 10,9       | N. Huynh (ABD)          | 3         | 3,22       | Parçacık sürü optimizasyonu        | 4         | 8,33       |
| Türkiye          | 4         | 7,27       | Y. B. Türkoğulları (TR) | 3         | 3,22       | “Lagrangian relaxation”            | 4         | 8,33       |
| İtalya           | 3         | 5,45       | N. Kaveshgar (ABD)      | 3         | 3,22       | Kesme düzlemleri (cutting plane)   | 3         | 6,25       |
| Singapur         | 3         | 5,45       | İ. K. Altinel (TR)      | 3         | 3,22       | Branch-and-Price                   | 2         | 4,16       |
| Hong Kong        | 2         | 3,63       | N. Aras (TR)            | 3         | 3,22       | Evrimsel algoritma                 | 2         | 4,16       |
| İspanya          | 2         | 3,63       | Z. C. Taşkın (TR)       | 3         | 3,22       | Rastgele uyarlanabilir arama alg.  | 1         | 2,08       |
| Hollanda         | 2         | 3,63       | B. M. Batista (ISP)     | 2         | 2,15       | Karınca kolonisi algoritması       | 1         | 2,08       |
| Meksika          | 2         | 3,63       | S. H. Chung (HK)        | 2         | 2,15       | Kaos bulut algoritması             | 1         | 2,08       |
| Almanya          | 1         | 1,81       | Y. M. Fu (BAE)          | 2         | 2,15       | Açgözlü (greedy) algoritma         | 1         | 2,08       |
| Avustralya       | 1         | 1,81       | C. E. Izquierdo (ISP)   | 2         | 2,15       | Yaklaşım algoritması               | 1         | 2,08       |
| Birleşik Krallık | 1         | 1,81       | A. Jebali (BAE)         | 2         | 2,15       | “Branching-Base” algoritması       | 1         | 2,08       |
| Danimarka        | 1         | 1,81       | P. Legato (İtalya)      | 2         | 2,15       | “Generalized extremal” opt.        | 1         | 2,08       |
| Güney Kore       | 1         | 1,81       | M. Liu (Çin)            | 2         | 2,15       | Kısıt programlama                  | 1         | 2,08       |
| İsviçre          | 1         | 1,81       | Z. Lu (Çin)             | 2         | 2,15       | “Time-space network flow”          | 1         | 2,08       |
| Norveç           | 1         | 1,81       | S. Wang (HK)            | 2         | 2,15       | Genetik programlama                | 1         | 2,08       |
| Tayvan           | 1         | 1,81       | E. Theodorou (BAE)      | 2         | 2,15       | Hibrit dağıtım tahmini algoritması | 1         | 2,08       |
| Yeni Zelanda     | 1         | 1,81       | R. Trunfio (İtalya)     | 2         | 2,15       | Çok terimli sezgisel               | 1         | 2,08       |
|                  |           |            | J. M. M. Vega (ISP)     | 2         | 2,15       | Petri Ağı                          | 1         | 2,08       |
|                  |           |            |                         |           |            | “Benders’ cut” algoritma           | 1         | 2,08       |
| Diğer            |           |            |                         | 37        | 39,78      |                                    |           |            |
| <b>Toplam</b>    | <b>55</b> | <b>100</b> |                         | <b>93</b> | <b>100</b> |                                    | <b>48</b> | <b>100</b> |

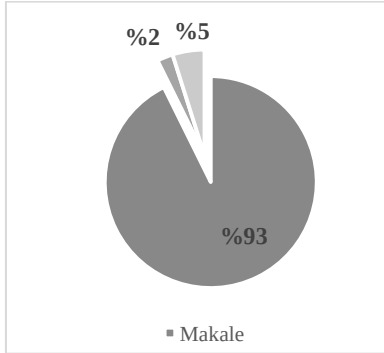


Tablo 3, konu ile ilgili en çok yayım yapan dergilerin dağılımı göstermektedir. Literatürde yer alan çalışmalar toplam 26 farklı yayım yerinde yer almaktadır. “European Journal of Operational Research” ve “Expert Systems with Applications” en çok yayım yapan dergiler olduğu tespit edilmiştir.

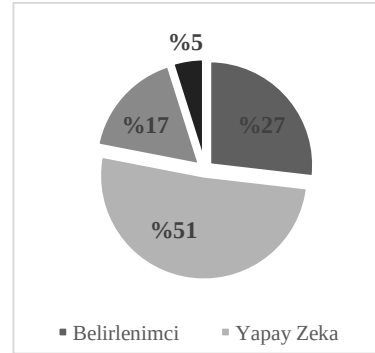
**Tablo 3: En Çok Yayım Yapan Dergilerin Dağılımı**

| Yayın Yeri                               | (f) | %     |
|------------------------------------------|-----|-------|
| European Journal of Operational Research | 5   | 12,19 |
| Expert Systems with Applications         | 4   | 9,75  |
| Computers and Industrial Engineering     | 3   | 7,31  |
| Computers and Operations Research        | 3   | 7,31  |
| Annals and Operation Research            | 3   | 7,31  |
| Optimization Letters                     | 2   | 4,87  |
| Engineering Optimization                 | 2   | 4,87  |
| Diğer                                    | 19  | 46,34 |
| Toplam                                   | 41  | 100   |

Şekil 5 ve Şekil 6 sırasıyla ilgili çalışmaların yayım türleri ve yaklaşım tipleri dağılımlarını göstermektedir. Yayın türlerinin %93 oranında “makale”, yaklaşım tiplerinin ise %51 oranında “yapay zekâ” yaklaşımı olduğu ortaya çıkmıştır.

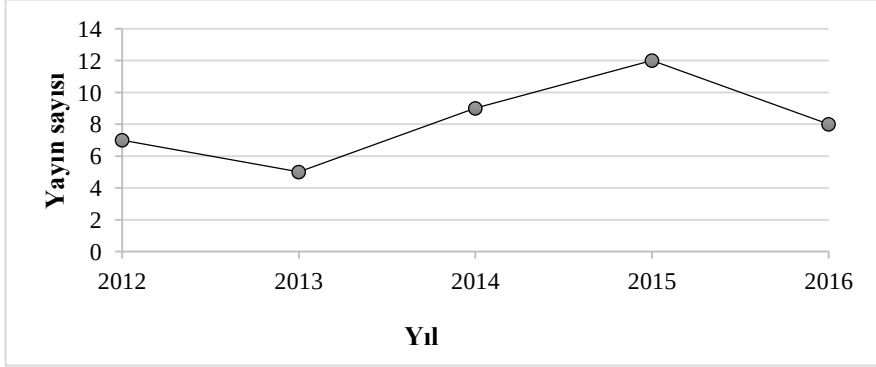


**Şekil 5: Yayın Türleri Dağılımı**



**Şekil 6: Yaklaşım Tipleri Dağılımı**

Konu ile ilgili çalışmaların son 5 yıllık trendi Şekil 7’de gösterilmektedir.



Şekil 7: Son 5 Yıl Yayın Trendi

Şekilde görüldüğü gibi RVÇP’ne yönelik güncel çalışma sayısında giderek artan bir eğilim olduğu tespit edilmiştir. 2015 yılı 12 adet çalışma ile en çok yayın yapılan yıl olmuştur.

## 6. SONUÇ

Literatürde, RVÇP’nin çözümüne yönelik çeşitli model, teknik ve metodlar bulunmaktadır. Çalışma RVÇ problemlerine yönelik bu karışık ve yoğun modellerin ayrıntılı çerçevesini oluşturmuş olup hem akademik hem de uygulamacılar için bir yol gösterici niteliğindedir.

Çalışmada öncelikle RVÇP kapsamında yapılmış bilimsel makale, bildiri ve kitap bölümleri belirlenmiş ve ana hatlarıyla özetlenmiştir. Daha sonra bu çalışmalardan, son gelişmelerin ortaya konması ve gelecek eğiliminin anlaşılması amacıyla, 2012 yılı ve sonrası ritim vinci çizelgeleme problemini konu almış olanların önerdiği modeller ayrıntılı olarak incelenmiştir. RVÇP birden fazla deniz taraflı operasyon problemini konu almaktadır. Çalışmada öncelikle literatürde bu problemlere yönelik önerilen modeller için bir sınıflandırma yapılmıştır. Bu sınıflandırmada modellerin Belirlenimci (Deterministic) Yaklaşım, Yapay Zeka Uygulamaları, Simülasyon Yaklaşımı ve Hibrit Sistemler Yaklaşımı olmak üzere temelde dört farklı yaklaşım tipine sahip olduğu saptanmıştır. Her bir yaklaşım örneklerle anlatılmış ve literatür taramasında elde edilen çalışmalar tabloleştirilmiştir. Yapılan bibliyometrik analiz neticesinde Genetik Algoritma en sık kullanılan çözüm algoritması olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca yapay zekanın en çok tercih edilen yaklaşım tipi olduğu tespit edilmiştir.

Gelişen teknolojinin desteği ve deniz taşımacılığına olan artan talep doğrultusunda büyüyen gemi boyutları liman kapasitelerini zorlar hale gelmiştir. Özellikle deniz yönlü operasyonlar bağlamında, rıhtım vinçlerinin verimliliği son yıllarda hem akademik hem de sektörel alanda artan bir eğilimle tartışıldığı görülmektedir. Rıhtım vinçlerinin verimliliği arttırmak amacıyla daha hızlı çalışabilmeleri ihtiyacı, iki veya üç konteyneri eş zamanlı elleçleyebilen rıhtım vinci ya da hareket edebilen hatta yüzer bir platforma kurulu vinçler gibi yenilikçi çözümleri karşımıza çıkarmaktadır. Akademik literatürde de bu yenilikçi çözelgeleme problemlerine yönelik çözümlerin tartışılmaya başlandığı gözlemlenmiştir. Ancak liman operasyonlarını bir bütün olarak düşündüğümüzde RVÇP, YYTP ve RVA problemleri ile doğrudan ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Bu sebeple önerilen yenilikçi çözüm modellerinin her üç problemi birlikte ele alabilen ve limanların da bu çözüm modellerini aynı anda uygulayabilecek uygun altyapıyı sağlayabilir konumda olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Liman operasyonlarının verimliliği limanların hizmet kalitesi, rekabetçi üstünlüğü ve limanın karlılığı gibi konular üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Bu sebeple liman operasyonlarının optimizasyonu, sürekli gelişen teknolojik altyapıların da etkisiyle, yenilikçilik kapsamında daha çok tartışılması gereken bir araştırma konusudur. Teknolojinin her geçen gün artan hızlı gelişimiyle ortaya çıkan/çıkabilecek yeni çözelgeleme problemlerini ve bu problemlerin çözümüne ilişkin yenilikçi model ve algoritmaların geliştirilmesine odaklanılması gerekmektedir. Özellikle endüstri 4.0'ın yoğun olarak tartışılmaya başlandığı bu dönemde insansız uzaktan kontrol edilebilen rıhtım vinçlerinin çözelgeleme problemlerine yönelik yenilikçi çalışmalar yapılması tavsiye edilmektedir.

## **KAYNAKLAR**

Al-Dhaheri, N. ve Diabat, A. (2015). The quay crane scheduling problem. *Journal of Manufacturing Systems*, 36(1), 87-94.

Al-Dhaheri, N. ve Diabat, A. (2016). A lagrangian relaxation-based heuristic for the multi-ship quay crane scheduling problem with ship stability constraints. *Annals and Operation Research*, 24 (1).

Al-Dhaheri, N., Jebali, A. ve Diabat, A. (2016a). A simulation-based genetic algorithm approach f-for the quay crane scheduling under uncertainty. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 66, 122-138.

Al-Dhaheri, N., Jebali, A. ve Diabat, A. (2016b). The quay crane scheduling problem with nonzero crane repositioning time and vessel stability constraints. *Computers and Industrial Engineering*, 94, 230-244.

Aras, N., Türkoğulları, Y., Taşkın, Z.C. ve Altinel, K. (2014). Simultaneous optimization of berth allocation, quay crane assignment and quay crane scheduling problems in container terminals. In: *Operations Research Proceedings 2012, Springer International Publishing*, 101-107.

Beens, M.A. ve Ursavaş, E. (2016). Scheduling cranes at an indented berth. *European Journal of Operational Research*, 253(2), 298-313.

Bierwirth, C. ve Meisel, F. (2010). A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals. *European Journal of Operational Research*, 202(3), 615-627.

Bierwirth, C. ve Meisel, F. (2015). A follow-up survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals. *European Journal of Operational Research*, 244, 675-689.

Çağlar, V., Esmer, S. ve Bilgin, A. (2015). Mega konteyner gemilerinin tedarik zinciri ve limanlar üzerindeki etkileri. II. *Ulusal Liman Kongresi Bildiriler Kitabı*, İzmir.

Chen, J.H., Lee, D.H. ve Cao, J.X. (2012). A combinatorial benders' cuts algorithm for the quayside operation problem at container terminals. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 266-275.

Chen, J.H., Lee, D.H. ve Goh, M. (2014). An effective mathematical formulation for the unidirectional cluster-based quay crane scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 232(1), 198-208.

Chung, S.H. ve Chan, T.S. (2013). A workload balancing genetic algorithm for the quay crane scheduling problem. *International Journal of Production Research*, 51(16), 4820-4834.

Chung, S.H. ve Choy, K.L. (2012). A modified genetic algorithm for quay crane scheduling operations. *Expert Systems with Applications*, 39(4), 4213-4221.

Daganzo, C.F. (1989). The crane scheduling problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 23(3), 159-175.

Davarzani, H., Fahimnia, B., Bell, M. ve Sarkis, J. (2016). Greening ports and maritime logistics: A review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48, 473-487.

Diabat, A. ve Theodorou, E. (2014). An integrated quay crane assignment and scheduling problem. *Computers and Industrial Engineering*, 73, 115-123.

Fu, Y.M. ve Diabat, A. (2015). A lagrangian relaxation approach for solving the integrated quay crane assignment and scheduling problem. *Applied Mathematical Modelling*, 39(3), 1194-1201.

Fu, Y.M., Diabat, A. ve Tsai, I.T. (2014). A multi-vessel quay crane assignment and scheduling problem: formulation and heuristic solution approach. *Expert Systems with Applications*, 41(15), 6959-6965.

Guan, Y., Yang, K.H. ve Zhou, Z. (2013). The crane scheduling problem: models and solution approaches. *Annals and Operations Research*, 203(1), 119-139.

Guo, P., Cheng, W ve Wang, Y. (2014). A modified generalized extremal optimization algorithm for the quay crane scheduling problem with interference constraints. *Engineering Optimization*, 46(10), 1411-1429.

Hakam, M.H., Solvang, W.D. ve Hammervoll, T. (2012). A genetic algorithm approach for quay crane scheduling with non-interference constraints at Narvik Container Terminal. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 15(4), 269-281.

He, J., Huang, Y., Yan, W. ve Wang, S. (2015). Integrated internal truck, yard crane and quay crane scheduling in a container terminal considering energy consumption. *Expert System with Applications*, 42(5), 2464-2487.

Iris, Ç., Pacino, D., Ropke, S. ve Larsen, A. (2015). Integrated berth allocation and quay crane assignment problem: set partitioning models and computational results. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 81, 75-97.

Izquierdo, C.E., Velarde, J.L.G., Batista, B.M. ve Vega, J.M.M. (2013). Hybrid estimation of distribution algorithm for the quay crane scheduling problem. *Applied Soft Computing*, 13(10), 4063-4076.

Izquierdo, C.E., Ruiz, E.L., Batista, B.M. ve Vega, J.M.M. (2014). A study of rescheduling strategies for the quay crane scheduling problem under random disruptions. *Inteligencia Artificial*, 17(54), 35-47.

Kaveshgar, N. ve Huynh, N. (2015a). Integrated quay crane and yard truck scheduling for unloading inbound containers. *International Journal of Production Economics*, 159, 168-177.

Kaveshgar, N. ve Huynh, N. (2015b). A genetic algorithm heuristic for solving the quay crane scheduling problem with time windows. *Maritime Economics and Logistics*, 17(4), 515-537.

Kaveshgar, N., Huynh, N. ve Rahimian, S.K. (2012). An efficient genetic algorithm for solving the quay crane scheduling problem. *Expert Systems with Applications*, 39(18), 13108-13117

Kenan, N. ve Diabat, A. (2015). A branch-and-price algorithm to solve a quay crane scheduling problem. *Procedia Computer Science*, 61, 527-532.

Kim, K.H. ve Park, Y.M. (2004). A crane scheduling method for port container terminals. *European Journal of Operational Research*, 156(3), 752-768.

Ku, D. ve Arthanari, T.S. (2014). On double cycling for container port productivity improvement. *Annals of Operations Research*, 243(1-2), 55-70

Lee, C.Y., Liu, M. ve Chu, C. (2014). Optimal algorithm for the general quay crane double-cycling problem. *Transportation Science*, 49(4), 957-967.

Legato, P. ve Trunfio, R. (2014). A Local branching-based algorithm for the quay crane scheduling problem under unidirectional schedules. *Journal of Operation Research*, 12(2), 123-156.

Legato, P., Trunfio, R. ve Meisel, F. (2012). Modeling and solving rich quay crane scheduling problems. *Computers and Operations Research*, 39(9), 2063-2078.

Li, M.W., Hong, W.C., Geng, J. ve Wang, J. (2016). Berth and quay crane coordinated scheduling using multi-objective chaos cloud particle swarm optimization algorithm. *Neural Computing and Applications*, 28(11),3163-3182

Liang, C.J., Li, M.M., Lu, B., Gu, T., Jo, J. ve Ding, Y. (2015). Dynamic configuration of qc allocating problem based on multi-objective genetic algorithm. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(3),847-855

Liu, M., Zheng, F ve Li, J. (2015). Scheduling small number of quay cranes with non-interference constraint. *Optimization Letters*, 9(2), 403-412.

Lu, Z., Han, X., Xi, L. ve Erera, A.L. (2012). A heuristic for the quay crane scheduling problem based on contiguous bay crane operations. *Computers and Operations Research*, 39(12), 2915-2928.

Meisel, F. ve Bierwirth, C. (2011). A unified approach for the evaluation of quay crane scheduling models and algorithms. *Computers & Operations Research*, 38(3), 683–693.

Meisel, F. ve Bierwirth, C. (2013). A framework for integrated berth allocation and crane operations planning in seaport container terminals. *Transportation Science*, 47, 131-147.

Nam, H. ve Lee, T. (2013). A scheduling problem for a novel container transport system: A case of mobile harbor operation schedule. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 25(4), 576-608.

Nguyen, S., Zhang, M., Johnston, M. ve Tan, K.C. (2013). Hybrid evolutionary computation methods for quay crane scheduling problems. *Computers & Operations Research*, 40(8), 2083-2093.

Rashidi, H. ve Tsang, E.P. (2013). Novel constraints satisfaction models for optimization problems in container terminals. *Applied Mathematical Modelling*, 37(6), 3601-3634.

Reyes, L.C., Gomez, C., Alvarez, A.L., Valdez, N.R., Castellanos, M.Q., Valdez, G.C. ve Barbosa, J.G. (2016). A hybrid metaheuristic algorithm for the quay crane scheduling problem. *Handbook of Research on Military, Aeronautical, and Maritime Logistics and Operations*, 238-256, 2016.

Rodriguez-Molins, M., Barber, F., Sierra, M.R., Puente, J. ve Salido, M.A. (2012). A genetic algorithm for berth allocation and quay crane assignment. In: *Proceedings of Ibero-American Conference on Artificial Intelligence* 601-610, Springer Berlin Heidelberg.

Rowley, J. ve Slack, F. (2004). Conducting a literature review. *Management Research News*, 27(6), 31–39.

Sammarra, M., Cordeau, J.F., Laporte, G. ve Monaco, M.F. (2007). A tabu search heuristic for the quay crane scheduling problem. *Journal of Scheduling*, 10(4), 327–336.

Santini, A., Friberg, H.A. ve Ropke, S. (2015). A note on a model for quay crane scheduling with non-crossing constraints. *Engineering Optimization*, 47(6), 860-865.

Seuring, S. ve Gold, S. (2012). Conducting content-analysis based literature reviews in supply chain management. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(5), 544–555.

Shin, K. ve Lee, T. (2013). Container loading and unloading scheduling for a mobile harbor system: a global and local search method. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 25(4), 557-575.

Statheros, T., Howells, G. ve McDonald-Maier, K. (2008). Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques. *The Journal of Navigation*, 61(1), 129-142.

Tam, C.K., Bucknall, R. ve Greig, A. (2009). Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters. *The Journal of Navigation*, 62(3), 455-476.

Tang, L., Zhao, J. ve Liu, J. (2014). Modeling and solution of the joint quay crane and truck scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 236(3), 978-990.

Tavakkoli-Moghaddam, R., Makui, A., Salahi, S., Bazzazi, M. ve Taheri, F. (2009). An efficient algorithm for solving a new mathematical model for a quay crane scheduling problem in container ports. *Computer and Industrial Engineering*, 56(1), 241-248.



Theodorou, E. ve Diabat, A. (2015). A joint quay crane assignment and scheduling problem: formulation, solution algorithm and computational results. *Optimization Letters*, 9(4), 799-817.

Tranfield, D., Denyer, D. ve Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207–222.

Türkoğulları, Y.B., Taşkın, Z.C., Aras, N. ve Altınel, İ.K. (2014). Optimal berth allocation and time-invariant quay crane assignment in container terminals. *European Journal of Operational Research*, 235(1), 88-101.

Türkoğulları, Y.B., Taşkın, Z.C., Aras, N. ve Altınel, İ.K. (2016). Optimal berth allocation, time-variant quay crane assignment and scheduling with crane setups in container terminals. *European Journal of Operational Research*, 254(3), 985-1001.

Ulu, S. ve Akdağ, M. (2015). Dergilerde yayınlanan hakem denetimli makalelerin bibliyometrik profili: Selçuk İletişim örneği. *Selçuk Üniversitesi İletişim Fakültesi Dergisi*, 9(1), 5-21.

UNCTAD (2016). *Review of Maritime Transport*, United Nations Conference on Trade and Development.

Ünsal, Ö. (2013). *Constraint programming approach to quay crane scheduling problem*, Yüksek Lisans Tezi, Koç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ünsal, Ö. ve Oğuz, C. (2013). Constraint programming approach to quay crane scheduling problem. *Transportation Research Part E*, 59, 108-122.

Ursavas, E. (2014). A decision support system for quayside operations in a container terminal. *Decision Support Systems*, 59, 312-324.

Yang, C., Wang, X. ve Li, Z. (2012). An optimization approach for coupling problem of berth allocation and quay crane assignment in container terminal. *Computers and Industrial Engineering*, 63(1), 243-253.

Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.

Zeng, Q., Diabat, A. ve Zhang, Q. (2015). A simulation optimization approach for solving the dual-cycling problem in container terminal. *Maritime Policy and Management*, 42 (8), 806-826.

Zhen, L., Yu, S., Wang, S. ve Sun, Z. (2016). Scheduling quay cranes and yard trucks for unloading operations in container ports. *Annals and Operation Research*, 24(1), 1-24.