

## Kapasite ve Mesafe Kısıtlı Periyodik Gezgin Satıcı Problemi ve Genetik Algoritma ile Çözümü: Türk Hava Kuvvetlerine Ait Kargo Uçaklarının (A400M) Çizelgelenmesi ve Rotalanması<sup>1</sup>

Timur KESKİNTÜRK<sup>2</sup>  
Emin UZ<sup>3</sup>  
Mehmet TOPAL<sup>4</sup>

### Özet

Bu çalışmada Türk Hava Kuvvetlerine ait yeni nesil kargo uçaklarının (A400M) olası Türkiye içi üsler arası dağıtım görevine ait çizgeleme ve rotalama problemi ele alınmıştır. Problem periyodik gezgin satıcı probleminin özel bir hali olan kapasite ve mesafe kısıtlı periyodik gezgin satıcı problemi olarak modellenmiştir. Periyodik gezgin satıcı problemi NP-Hard sınıfı problemlerden olup çözümü için sezgisel ve metasezgisel yöntemler geliştirilmiştir. A400M hava taşıma kargo uçağı geniş çaplı bir projenin ürünü olup Türkiye’de kullanımına 2014 yılında başlanmıştır. Çalışmamızda, Türk Hava Kuvvetlerinde ihtiyaç duyulan askeri malzeme, mühimmat, erzak, istihbarat bilgisi vb. destek ve ana ekipmanların en kısa sürede ve en verimli şekilde ulaşımının sağlanması amacıyla modellenen problem, genetik algoritma ile çözülmüş ve sonuçlar raporlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Gezgin Satıcı Problemi, Genetik Algoritma, Periyodik, Çizgeleme, Kapasite, Kısıt

### Genetic Algorithm Approach for Capacitated and Distance Constrained Periodic Travelling Salesman Problem: Scheduling and Routing of Turkish Air Forces’ A400M Military Transport Aircraft

### Abstract

In this article, the route and schedule of Turkish Air Force’s new generation cargo plane (A400M) for potential distribution of articles in between bases that located in Turkey is examined. We applied the extended problem of periodic traveling salesman problem: capacitated and distance constrained periodic travelling salesman problem in this case study. Traveling salesman problem is a type of NP-hard problem and to work out this problem there are many heuristic and metaheuristic methods. A400M airliner is a state-of-the-art product of a big international project that has started to operate in 2014 in Turkey. In this article, to meet Turkish Air Forces needs such as the military material, ammo, food, intelligent information and that kind of supporting and main equipment etc., we use genetic algorithm approach to solve the problem and report the results of the algorithm.

**Keywords:** Traveling Salesman Problem, Genetic Algorithm, Periodic, Scheduling, Capacity, Constraint

<sup>1</sup> Bu çalışma, Hava Harp Okulunun Dekanlığı Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde yapılmış ve 2015 yılında tamamlanan “Gezen Satıcı Problemi ve Bir Uygulaması” isimli bitirme tezinden türetilmiştir. Çalışma ayrıca XVIth International Symposium On Econometrics, Edirne, Türkiye, 7-12 Mayıs 2015 sempozyumunda özet bildirisi olarak sunulmuştur.

<sup>2</sup> Doç. Dr., İstanbul Üniversitesi, İşletme Fakültesi, tkturk@istanbul.edu.tr

<sup>3</sup> Hava Harbiyesi, uzemin1.eu@gmail.com

<sup>4</sup> Hava Harbiyesi, mehmet46292334@gmail.com

## 1. Giriş

Çalışmamızda, Türk Hava Kuvvetlerinde (TSK) ihtiyaç duyulan askeri malzeme, mühimmat, erzak, istihbarati bilgi vb. destek ve ana ekipmanların en kısa sürede ve en verimli şekilde ulaşımının sağlanması amacıyla ele alınan olası gerçek hayat uygulaması, kapasite ve mesafe kısıtlı periyodik gezgin satıcı problemi (KMKPGSP) olarak modellenmiş ve genetik algoritma metasezgiseli ile çözülmüştür. Sürekli tekrar eden dağıtım toplama faaliyetleri uzun vadede ciddi maliyetler oluşturmaktadır. Bir periyot boyunca hatta ilgili periyodun bir gününde yapılabilecek bir iyileştirme bile yıl bazında hesaplandığında kurum açısından ciddi tasarruflar ortaya çıkarabilecektir. Örneğin Ghiania, Guerriero, Improta ve Musmanno (2005), yaptıkları çalışmada İtalya'daki bir belediyeye ait sağlık kuruluşlarının atık toplama araçlarının rotalanmasını optimize ederek %8 lik bir tasarruf sağlamayı başarmışlardır. Bu iyileştirmenin tüm İtalya belediyelerinde gerçekleşmesi durumunda yılda 100 milyonlarca euroluk bir tasarruf oluşturulabileceğini iddia etmişlerdir. Bu gibi parasal kazançların dışında, uçuş sürelerinin azalması ile kaza risklerinin ve buna bağlı olası ölümlerin, çevre kirliliğinin, gürültü kirliliğinin vb. konulardaki pozitif kazanımların da artacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışma ile TSK bünyesindeki, ilerleyen paragraflarda ayrıntılı olarak tanıtılacak olan, son teknoloji ürünü A400M kargo uçağının rotalanması konusunda bir öneride bulunmaktadır. Ayrıca, yapılan araştırma çerçevesinde periyodik gezgin satıcı probleminin ulusal dizinde birkaç çalışmanın literatür kısmında değinilmesi dışında, ele alındığı ve matematiksel modelinin tanıtılıp problemin çözüldüğü bir akademik yayınlara karşılaşılmamıştır. Arama motoru google.com üzerinde yapılan farklı anahtar kelimelerle aramalarda 3-10 arası sonuca ulaşılmış ve bunların bir kısmında konu ile bağlantısı olmayan sonuçlar olduğu anlaşılmıştır. Bu durumda çalışmamız Türkçe dilinde konusunda ilk bilimsel yayın özelliğini de taşımaktadır. Benzer konularda çalışma yapan araştırmacılar için dilimizde yayınlanmış bir çalışmanın olmasını önemli bulmaktayız. Yine araştırmamız çerçevesinde, genetik algoritmanın periyodik araç rotalama problemlerine uygulandığını ama periyodik gezgin satıcı problemine henüz uygulanmadığı görülmüştür.

Uygulamada, ilgili taşıma işlemleri A400M kargo uçağı (Şekil 1) ile gerçekleştirilmektedir. A400M en ileri teknoloji ile üretilmiş, kendini kanıtlamış, onaylanmış ve şu anda kullanımda olan, 21. Yüzyılın en gelişmiş hava taşıma aracıdır. Eski nesil taktiksel hava taşıma araçlarının taşınması mümkün olmayan ağır helikopterler, ağır piyade savaş ekipmanları, insani yardım makinalarını taşıyabilecek geniş bir kargo kabiliyetine sahiptir.

Kombine edilmiş taktiksel ve stratejik yetenekleri ile hacim, hız, irtifa, taşıma kapasitesi ve taktiksel performansı ile eski nesil hava taşıma araçlarının gerçekleştiremediği operasyonları gerçekleştirme kapasitesine sahiptir (www.militaryaircraft-airbusds.com, 2016).

Şekil 1. A400M Hava Taşıma Aracı



**Kaynak:** (Reckzeh, 2008: 1)

A400M projesi, Mayıs 2003'te Türkiye'nin de aralarında bulunduğu yedi Avrupa Birliği Ülkesinin (Belçika, Fransa, Almanya, Lüksemburg, İspanya, İngiltere) ve 2005'te Malezya'nın, ortak ihtiyaçların karşılanması amacıyla OCCAR (Organisation for Joint Armament Cooperation) altında yeniden organizasyonu ile hayata geçirilmiştir (www.militaryaircraft-airbusds.com, 2016). Uçağın yapımı için yeni bir endüstri fabrikasının dizaynına ve yapımına ihtiyaç duyulmuştur. A400M Son Montaj Hattı (Final Assembly Line: FAL) büyük bir endüstriyel zorluk olarak ortaya çıkmış ve dizaynında Dijital Üretim metodolojisi kullanılmıştır (Şekil 2). Ayrıca Ürün Yaşam Döngüsü yönetimi (Product Lifecycle Management: PLM) üretimde kullanılan diğer bir araç olmuştur (Menendez vd., 2012: 641-644).

İlk uçuşu 11 December 2009 tarihinde gerçekleştirilmiş, ilk dağıtım Ağustos 2013'te Fransa'ya yapılmış ve Türkiye'nin portföyüne de Mayıs 2014 yılında girmiştir. Türkiye ve Fransa uçağı Afganistan operasyonlarında kullanmışlardır. Farklı ülkelerden 174 tane sipariş gerçekleşmiş olup şu ana kadar dağıtılan A400M hava taşıma uçağının sayısı 23 olarak raporlanmıştır (www.militaryaircraft-airbusds.com, 2016).

Şu an için portföyünde 3 adet A400M olan Türkiye, bu uçakları Afganistan operasyonu gibi operasyonların yanı sıra 12 tane Türk Hava Kuvvetleri üssleri arasındaki kargo taşımacılığında da kullanmaktadır. Haftalık bir dağıtım planı, taleplere göre çizelgelenmektedir. Bu çalışmada da bu çizelgeleme ve rotalama işlemi, problemin çok

periyotlu gezgin satıcı problemi olarak modellenerek bir çözüm önerisi yapılmaktadır.

Şekil 2. A400M Son Montaj Hattı (FAL) İstasyon Şeması



**Kaynak:** (Menendez vd., 2012: 644)

Gezgin satıcı problemi (GSP), literatürde hakkında çok fazla çalışma yapılmış, güncelliğini halen koruyan ve geniş bir uygulama alanına sahip bir kombinasyon optimizasyon problemidir. Belli sayıdaki ziyaret noktalarının, bir noktadan başlayarak ve tüm noktaları bir kere ziyaret ederek geri dönme işlemini, toplam tur uzunluğunu minimize edecek şekilde gerçekleştirme problemidir. Çok periyotlu gezgin satıcı problemi (ÇPGSP, Multiperiod Traveling Salesman Problem: MPTSP) ise aynı problemin periyodik olarak tasarlanmış halidir. ÇPGSP, gezgin satıcı probleminin (GSP) farklı bir versiyonu olup, şehirlerin (müşteri noktaları) belli bir zaman periyodunda (M-gün) ziyaret edilmesi problemi olarak tanımlanabilir (Paletta, 1992: 789). Belirlenen M gün içerisinde her gün en az bir ziyaret gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda, tüm müşteriler belirlenen zaman aralığında ziyaret edilmiş olmalıdır. Literatürde aynı problem Periyodik Gezgin Satıcı Problemi (PGSP, The periodic traveling salesman problem (PTSP)) ismi ile de anılmaktadır (Paletta, 2002: 1343). Bu çalışmada PGSP ismi kullanılacaktır.

PGSP, GSP'nin geliştirilmiş hali olduğundan, NP-hard sınıfta yer alan, çözümü zor problemlerdendir (Paletta, 2002: 1344). Problem, uygulamada mektup dağıtımı, bahçe bakımı gibi bir çok durumda ortaya çıkabilmektedir (Cordeau vd., 1997: 106).

Probleme geçmişte uygulanan çözüm yöntemlerine geçmeden önce optimizasyon ile ilgili bilgi vermenin uygun olacağını düşünmekteyiz. Literatürde en iyileme (optimizasyon)

problemlerinin çözümünde kullanılabilir birçok teknik mevcuttur. Bunları kesin çözüm yöntemleri ve sezgisel yöntemler diye ayırmak da mümkündür. Kesin çözüm yöntemlerini kullanarak belli bir büyüklüğe kadar olan problemlere çözüm bulmak mümkün iken, problemin boyutunun büyümesi ise bunu çok zor veya imkânsız hale getirmektedir. Bu sebeple genetik algoritmalar, tabu arama, tavlama benzetimi gibi bir takım sezgisel arama yöntemleri geliştirilmiştir. Son yıllarda kombinatoriyel problemlerin çözülmesinde sezgisel yöntem kullanımları önemli bir ölçüde artmaktadır. Jones ve diğerlerine (2002: 2) göre, aslında sezgisel yöntemlerin popülaritesinin 1991 yılı itibarı ile hızlı bir şekilde artış göstermesinin birinci nedeni olarak hesaplama gücünün iyi olmasından, ikinci olarak ise dönüştürülebilir olmasından kaynaklanmaktadır. Sezgisel yöntemlerin en büyük avantajları arasında çözüm zamanının sayım (enumeration) tekniğine göre çok kısa olması ve her tür problem için kolay bir şekilde entegre edilebilmesidir. Dezavantajları ise bu yöntemlerin optimum çözümü garanti etmemesi ve iyi çözüm verebilmesi için birçok parametrenin uygun bir şekilde ayarlanması gerekliliğidir. Şehir sayısı arttığı durumlarda GSP'yi bir polinomial algoritma yardımıyla çözmek mümkün olmadığı için (NP-tam sınıfında yer alması sebebiyle) kısa sürede çözüm sağlayan çeşitli sezgisel yöntemler önerilmiştir.

Periyodik rotalama problemleri için Christofides ve Beasley (1984: 237-256) geliştirdikleri sezgiseli 126 müşteri sayısına kadar ulaşan test problemlerine uygulamış ve en büyük problem için %13'lük bir iyileştirme sağlamışlardır. Paletta (1992: 793-795), çalışmasında iki adet sezgisel geliştirmiş ve Algoritma1 ve Algoritma2 adlarını verdiği bu sezgiselleri, Eilon ve diğerlerinin (1971: 113) ürettiği, Christofides ve Beasley'in (1984: 237-256) modifiye ettiği 10 test problemi üzerinden Christofides ve Eilon sezgiselleri ile karşılaştırmıştır. İki sezgiselini 2-optimal prosedürlerini kullanarak çalıştırdığında her iki karşılaştırma sezgiselinden de daha iyi sonuçlar bulunduğunu raporlamıştır. Chao ve diğerleri (1995) geliştirdikleri basit ve hızlı sezgisel ile literatürdeki ve kendi ürettikleri problemlere oldukça iyi sonuçlar bulmuşlardır. Sezgisellerinde önce bir başlangıç çözümü oluşturup daha sonra Dueck'in (1993: 86-92) record-to-record yaklaşımına dayalı geliştirme adımlarını kullanmışlardır. Cordeau ve diğerleri (1997: 105-119) PGSP, periyodik araç rotalama ve çok depolu arç rotalama problemleri için Tabu Arama (Tabu Search) metasezgiselini önermiş ve literatürdeki her üç tip test problemi içinde sonuçları geliştirmiştir. Paletta (2002: 1343) geliştirdiği yeni sezgiselleri yine test problemleri üzerinde denemiş ve çok sayıda yeni en iyi bilinen değerlere ulaşmıştır. Bunun dışında, ortalama yüzde hataları da literatürdeki yöntemlerden daha düşük çıkmıştır. Bertazzi ve diğerleri (2004: 1215-1222) tur oluşturan ve

tur geliştiren prosedürleri modifiye ederek oluşturdukları sezgisel test problemleri üzerinde denemişlerdir. Bilinen en iyi sonuçların başarısını %95 oranında yakalamış, net olarak %45 oranında problemde yaklaşık %0,6 oranında iyileştirme sağlamışlardır. Bassetto ve Mason (2011) PGSP'nin özel bir hali olan 2-periyot dengelemeli PGSP problemini tanıtmışlardır. Problemlerinde noktalardan bazıları bir kez ziyaret edilirken diğerleri iki kere ziyaret edilmekte ve periyotlardaki toplam ziyaret maliyetleri dengelenmeye çalışılmaktadır. Ayrıca çalışmalarında öklid uzaklıkları kullanmışlardır. Cacchiani ve diğerleri (2014: 53-64), geliştirdikleri küme kapsama temelli sezgisel yöntemi periyodik araç rotalama problemlerine (PARP) uygulamışlardır. Test problemi olarak Pacheco ve diğerlerinin (2011: 569-581) çalışmasındaki gerçek dünya verilerinden geliştirilen PARP problemleri ve PGSP test problemlerini ele almışlardır.

Çalışmanın ikinci bölümünde KMKPGSP problemi tanıtılacak ve matematiksel modeline yer verilecektir. Üçüncü bölüm problemlerin çözümünde kullanılacak genetik algoritma metasezgiselinin ilgili probleme uygulanmasına ayrılmıştır. Sonraki bölüm, KMKPGSP probleminin genetik algoritma ile çözümünü yani uygulamayı içermektedir. Son olarak çalışmanın sonuçlarının tartışıldığı bölüm yer almaktadır.

## 2. KMKPGSP: Matematiksel Model

Periyodik gezgin satıcı problemi, gezgin satıcı probleminin özel bir hali olup tek bir dağıtım planı yerine, müşteri noktalarının belli bir periyod içerisinde ziyaretini ele almaktadır. Şöyleki, belli bir coğrafi alana dağılmış 20 müşteri tek bir araçla tek bir seferde ziyaret edilerek tekrar başlanılan notaya dönülüyorsa bu problem GSP olarak isimlendirilmektedir. Çok daha geniş bir alana yayılmış 20 müşteri tek bir seferde ziyaret edilemiyorsa (zaman, yakıt takviyesi, dağıtım ya da toplama ile ilgili kapasite kısıtı vb. sebeplerle) ve bu ziyaretler birden çok günde tamamlanıyorsa PGSP probleminden bahsedilebilir.  $G = (V, E)$ , yönsüz (undirected), bağlı (Connected) bir çizge olmak üzere  $V = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ , noktalar (müşteriler) kümesi ve  $E = \{(i, j) | i, j \in V, i \neq j\}$  ise kenarlar kümesi olup "0" noktası başlangıç noktasını temsil etmektedir. Problemin matematiksel modeli açıklanmadan önce ilgili notasyonlar aşağıda verilmiştir.

- : Planlanan zaman dilimindeki toplam gün sayısı
- : İlgili turun gerçekleştiği gün:  $t = \{1, 2, \dots, T\}$
- : Ziyaret edilmesi gereken toplam nokta sayısı:  $V = \{0, 1, 2, \dots, n\}$

- :  $i$  ve  $j$  noktaları arasındaki geçiş maliyeti
- :  $i$  noktasına ait talep miktarı
- : Bir tura ait toplam mesafe kısıtı
- : Araca ait yük kapasitesi
- :  $i$  noktasındaki hizmet süresi
- $K_t$  :  $t$  gününde gerçekleşen tur:  $(\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_k)$ . İlgili gün ziyaret edilen nota sayısı  $k$ , öyle ki  $(\pi_j, \pi_{j+1}) \in E$ , tüm  $1 \leq j \leq k$  için.

Problemdeki bir  $t$  gününe ait rota uzunluğu Denklem 1'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$C(K_t) = \sum_{i=0}^{k-1} c_{\pi_i, \pi_{i+1}} + h_{i+1} \quad (1)$$

Buna göre tüm günlerdeki rotaların toplam uzunluğu Denklem 3'teki gibi hesaplanabilir. Bu aynı zamanda minimize edilmek istenen amaç fonksiyonudur.

$$\text{Min } C(S) = \sum_{t=1}^T C(K_t) \quad (2)$$

$$C(K_t) = \sum_{i=0}^{k-1} c_{\pi_i, \pi_{i+1}} + h_{i+1} \leq C_1, t = \{1, 2, \dots, T\} \quad (3)$$

$$D(K_t) = \sum_{i=1}^k d_i \leq C_2, t = \{1, 2, \dots, T\} \quad (4)$$

Denklem 3,  $t$  günündeki toplam rota uzunluğunun (hizmet süreleri ( $h_i$ ) dahil),  $C_1$ , kapasite kısıtını aşmamasını garanti etmektedir ve bu kısıt periyottaki tüm günler için geçerlidir  $t = \{1, 2, \dots, T\}$ . Bir  $t$  gününde ziyaret edilen  $k$  müşterinin toplam talebinin, araç kapasitesi  $C_2$ 'yi geçmemesini sağlayan kısıt Denklem 4'te belirtilmiştir. Klasik PGSP problemlerinin büyük bir çoğunluğunda, Denklem 3- 4'teki kısıtlar yer almamaktadır. Literatürdeki bazı çalışmalarda (Bertazzi vd. 2004: 1215), her gün en az bir müşteriye uğrama kısıt bulunmaktadır ki bizim modelimizde böyle bir kısıtlama yoktur. Burada dikkat edilmesi gereken diğer bir husus ise her müşteriye mutlaka uğranması gerektiği kısıttır ve genetik

algoritma çözüm kromozomlarında tüm müşteriler belirlenen zaman dilimi içerisinde ziyaret edilecek şekilde tasarlanmıştır.

### 3. KMKPGSP için Genetik Algoritma

GA, çok değişkenli, zor problemlerin çözümü için geliştirilmiş, popülasyon temelli sezgisel bir yöntemdir (Goldberg, 1989; Michalewicz, 1992; Reeves, 1995). Önbilgi ve varsayımlar olmadan, amaç fonksiyonu ile çalışabilmektedir. Problem değişkenleri, kromozom denen dizilerde, genlerle temsil edilmektedir. Her bir değişken kodlama biçimine bağlı olarak tek ya da bir grup genle tanımlanmaktadır. Seçim, çaprazlama ve mutasyon olarak adlandırılan genetik operatörlerle iterasyonlar boyunca kromozomlarda birtakım değişiklikler yapılmakta ve en iyi sonucu verecek çözüm seti aranmaktadır.

GA'da ilk olarak kodlama biçimine karar verilir. Genellikle ikili kodlama, permutasyon kodlama ve gerçek değerli kodlama kullanılmaktadır. İkili kodlama 1 ve 0 değerlerinden oluşup değişkenler değer aralığına göre belirlenen sayıda genden oluşan ikili düzende temsil edilmektedir. Permutasyon kodlama, sıralamanın önemli olduğu ve tekrarın mümkün olmadığı, en kısa yol, gezgin satıcı, araç rotalama vb. problemlerin çözümünde kullanılır. Gerçek değerli kodlama ise değişkenlerin doğrudan kendi değerleriyle temsil edildikleri kodlama biçimidir.

Popülasyon temelli olan GA'da çözüm uzayındaki arama tek bir noktadan değil, noktalar kümesinden yapılmaktadır. Uygulayıcı tarafından belirlenen miktardaki kromozom, popülasyonu oluşturmaktadır. Çözüme tesadüfi olarak veya basit tekniklerle oluşturulabilen başlangıç popülasyonu ile başlanır. Genlerdeki değişken değerleri, fonksiyonda yerine konularak kromozomun uygunluk değeri elde edilir. Genetik operatörlerden ilk olarak seçim operatörü uygulanır. Amaç, popülasyonda daha iyi bireylerin çoğaltılması, uygunluğu düşük olan bireylerin elenmesidir. Birçok seçim yöntemi vardır. Bunlara, rulet tekerleği seçimi, turnuva seçimi, genel stokastik örnekleme ve sıralı seçim örnek olarak verilebilir (Obitko, 1998). Seçim sonrası çaprazlama operatörü uygulanmaktadır. Çaprazlamada amaç, iki bireyin farklı birtakım özelliklerini taşıyan ve daha iyi bireyler elde etmektir. Böylelikle, uygunluğu daha yüksek çözüm alternatifleri üretilmeye çalışılır. İkili kodlamada genellikle tek nokta (Sarker ve Newton, 1995), iki nokta ve çok noktalı çaprazlama, permutasyon kodlamada pozisyona dayalı, sıralı (Goldberg, 1989) ve dairesel çaprazlama (Cheng, Gen, Yasuhiro, 1999) kullanılmaktadır. Gerçek değerli kodlamaya ise aritmetik çaprazlama, kesikli üretim, çizgi üretim örnek olarak verilebilir.



Mutasyon operatörü, bir daha ulaşılmaması mümkün olmayan çözümlerin kaybına karşı koruma sağlamaktadır (Goldberg, 1989). Düşük bir olasılıkla herhangi bir gen üzerinde yapılan tesadüfi değişikliklerdir. İkili düzende, genin değeri 1 ise 0'a, 0 ise 1'e dönüştürülmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Permutasyon kodlamada yakın kaydırma, uzak kaydırma, toplu kaydırma, tesadüfi değişim, sıralı değişim gibi birçok mutasyon çeşidi vardır. Gerçek değerli kodlamada ise mevcut değişken değerinin belirlenen mutasyon adımı miktarınca azaltılması veya eşit olasılıkla artırılması şeklinde mutasyon uygulanmaktadır.

Genetik operatörler başlangıç popülasyonuna uygulanır ve yeni bir jenerasyon elde edilir. Tamamlanma kriteri sağlanana kadar genetik operatörlerle yeni popülasyonlar üretilir. Döngü tamamlandığında algoritma durdurulmakta ve mevcut en iyi çözüm sonuç olarak belirlenmektedir. Genetik algoritmanın genel anlatımını içeren buraya kadarki bölümü Sultan, Önay, Şen, Tunçer, Yıldırım ve Keskinürk'ün (2014: 9) çalışmalarındaki 4.7 bölümünden alınmıştır.

PGSP probleminin genetik algoritma çözümü için, çözüm alternatiflerini temsil eden matris yapı kullanılmıştır. Buna göre matrisin boyutlar: satır sayısı  $T$  (toplam gün sayısı) ve sütun sayısı ise  $maks(k)$  yani periyod içerisinde en fazla noktanın ziyaret edildiği rotanın nokta sayısı şeklinde oluşturulmaktadır. Buna göre  $T=3$  ve  $n=10$  iken ve ilgili günlerdeki rotalar:  $K_1=(1, 5, 8, 2)$ ,  $K_2=(3, 10, 4)$  ve  $K_3=(9, 6, 7)$  ise bu çözüme ait kromozom Şekil 3'teki gibi olacaktır.

Şekil 3. PGSP için GA Kromozom Yapısı

	$\pi_1$	$\pi_2$	$\pi_3$	$\pi_4$
$K_1$	1	5	8	2
$K_2$	3	10	4	0
$K_3$	9	6	7	0

Bu durumda popülasyon her biri tam bir çözümü temsil eden matris şeklindeki kromozomların oluşturduğu bir kitap gibi düşünülebilir. İlgili kromozomda en çok müşterinin ziyaret edildiği gün birinci gündür ve 4 müşteri ziyaret edilmiştir. Bu yüzden kromozomun sütun sayısı 4'tür. 2. ve 3. Gün üçer noktaya gidildiğinden 4. güne ait gen değerleri "0"dır.

Başlangıç popülasyonu tesadüfi olarak belirlenmektedir. Kod, her bir alternatif başlangıç çözümünün uygun bir çözüm olmasını sağlayacak şekilde yazılmıştır.

Kromozomlara ait uygunluk değerleri Denklem 2'ye göre hesaplanmaktadır.

Seçim operatörü olarak rulet tekerleği seçim yöntemi belirlenmiştir. Çaprazlamada ise tek nokta çaprazlama kullanılmıştır. Belirlenen iki kromozomun, tesadüfi olarak seçilen  $t$  ( $1 < t < k$ ) noktasının üst veya alt satırları karşılıklı olarak değiştirilmektedir. Bu işlem elbette uygun olmayan çözümler üretecektir. Çünkü bu değişim sırasında tekrar eden noktalar olabilecektir. Her nokta sadece bir kere ziyaret edilmesi gerektiğinden uygun olmayan çözümler ortaya çıkacaktır. GA kodu, uygun olmayan çözümlerin düzeltilmesi için geliştirilen bir kontrol prosedürü içermektedir. Buna göre, tekrar edilen noktalardan biri tesadüfi olarak seçilip, çözümden çıkarılmaktadır. Mutasyon operatörü, kromozom içerisindeki iki noktanın (satırlar farklı olabilir) karşılıklı olarak yer değiştirmesini içeren tesadüfi değişim (random exchange) mutasyonu olarak belirlenmiştir. Başlangıç popülasyonu hariç tüm operatörler, belirlenen iterasyon sayısı kadar tekrar edilip, en iyi çözüm bulunmaya çalışılmaktadır. İşlemlere ait sözde kod (pseudocode) Şekil 4'te verilmiştir.

#### Şekil 4. PGSP için GA Kromozom Yapısı

ADIM 0: Başlangıç popülasyonunun oluşturulması
ADIM 1: Kromozoma ait uygunlukların Denklem 2'ye göre hesaplanması
ADIM 2: Seçim operatörünün uygulanması
ADIM 3: Çaprazlama ve mutasyonun, olasılıkları dikkate alınarak uygulanması
ADIM 4: Adım 1, 2 ve 3'ün iterasyon sayısı tamamlanana kadar tekrar edilmesi
ADIM 5: En iyi uygunluk değeri ve ilgili çözüm setinin raporlanması

**Kaynak:** (Kesintürk, Yıldırım ve Bulut, 2012: 1229) kaynağından modifiye edilmiştir.

Denklem 3 ve 4'teki kısıtlamaların aşılmadığı, her iterasyonda, tüm kromozomlar için kontrol edilmektedir. Kısıtlamaları sağlamayan kromozomlara ceza fonksiyonu uygulanarak bir sonraki iterasyonda seçim operatörü tarafından elenmesi sağlanmaktadır. Bunun için yazılan ceza fonksiyonunda, her iki kısıt için hesaplanan toplam aşımalar 100 katsayısı ile çarpılmakta ve uygunluk değerine eklenmektedir.

#### 4. GA'nın KMKPGSP'ye Uygulanması: THK A400M Uçağının Çizelgelenmesi ve Rotalanması

Çalışmamızda, Türkiye'nin de aralarında bulunduğu OCCAR üyesi devletler tarafından son teknoloji ile üretilen, hava taşımacılığında gerek üretim prosesi ve gerekse özellikleri ile yeni bir çığır açan A400M kargo uçağının, muhtemel üsler arası dağıtım problemi KMKPGSP problemi olarak modellenmiş ve genetik algoritma ile çözülmüştür. Probleme ait ziyaret edilmesi gereken noktalar kümesi ( $V$ ) Türk Hava Kuvvetlerine ait 12 üs olarak alınmıştır. Üsslere ait harita bilgisi Şekil 5'te görülebilir.

Şekil 5. THK'ya Ait Üslerin Konumları



Kurgulanan probleme göre başlangıç noktası 12.nci üs olan Kayseri başlangıç noktası ( $\pi_0$ ) olup uçak her  $t \in \{1, 2, \dots, T\}$  periyodundaki uçuşunu tamamladıktan sonra tekrar buraya geriye dönmektedir. Üsler arası geçiş maliyetleri ( $c_{ij}$ ) uçuş süresi olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi, hem bir uçağın rotalanıyor olması hem de toplam mesafe kısıtının ( $C_1$ ) kontrolü sırasında uçak iniş-kalkış ve kargo indirme/yükleme sürelerinin de dikkate alınması gerektiğidir. Üsler arası uçuş süresi uzaklıkları Tablo 1'de verilmiştir. Bu değerler uçuş mesafeleri uçuş mili olarak belirlendikten sonra uçağın ortalama hızına bölünerek belirlenmiştir.

Tablo 1. THK'ne Ait Üsler Arası Mesafeler

No	Üs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ESKİŞEHİR	0	26	20	13	33	17	53	66	18	43	14	33
2	ÇİĞLİ	26	0	38	39	60	17	76	89	12	62	40	57
3	KONYA	20	38	0	18	32	37	38	52	34	24	17	21
4	ANKARA	13	39	18	0	33	18	53	66	17	44	14	34
5	AMASYA	33	60	32	33	0	50	28	39	51	34	20	18
6	BANDIRMA	17	17	37	18	50	0	70	84	6	61	31	52
7	MALATYA	53	76	38	53	28	70	0	14	70	20	40	19
8	DİYARBAKIR	66	89	52	66	39	84	14	0	83	30	53	33
9	BALIKESİR	18	12	34	17	51	6	70	83	0	59	31	51
10	İNCİRLİK	43	62	24	44	34	61	20	30	59	0	34	16
11	ANKARA	14	40	17	14	20	31	40	53	31	34	0	21
12	KAYSERİ	33	57	21	34	18	52	19	33	51	16	21	0

Her hafta, üslerden bir hafta sonraki ihtiyaçları ton bazında istenmektedir  $d_i, i = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ . Bu talepler problemimiz için Tablo 2'deki gibi belirlenmiştir.

Tablo 2. THK'ne Ait Üsslerin Haftalık Talepleri

Üss No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Talep	10	8	10	6	7	9	6	12	7	7	6

Uçağın mesai saatini göre çalıştığı varsayılmıştır ve mesai süresi  $C_1 = 480$  dakika olarak belirlenmiştir. Uçağın ilgili talepleri üsslere dağıtma periyodu  $T = 5$  gün olarak kararlaştırılmıştır. Uçağa ait kapasite kısıt  $C_2 = 30$  tondur. İniş-kalkış ve kargo indirme/yükleme süreleri sırası olarak 20 ve 30 dakika olarak belirlenmiştir. Bunlar, hizmet süresini ( $h_i$ ) temsil etmekte olup, başlangıç noktası için sadece iniş kalkış, diğerleri için her ikisi de dikkate alınmaktadır.

KMKPGSP için geliştirilen genetik algoritma kodları Matlab programlama dili ile yazılmıştır. Algoritma için seçilen parametreler iterasyon sayısı, popülasyon büyüklüğü, mutasyon oranı için sırasıyla 1000, 100 ve 0,1'dir. Çaprazlama için klasik genetik algoritma uygulamalarının aksine herhangi bir oran belirlenmemiştir. Bunun sebebi farklı bir çalışma prensibinin kullanılmasıdır. Buna göre çaprazlama ile mevcut kromozom sayısı kadar kromozom üretilmekte (mevcut kromozom havuzundan tesadüfi çiftler seçilerek) ve eski ve yeni kromozomlar içerisinde en iyi popülasyon büyüklüğü kadar kromozom yeni jenerasyon olarak belirlenmektedir. Algoritmanın birçok defa çalıştırılmış ve her seferinde aynı sonuca ulaşılmıştır. Bunun sebebi nokta sayısının az olabileceği gibi algoritmanın bu tip bir problem için iyi bir performansa sahip olması da olabilir. Bu konu Sonuç bölümünde tartışılmıştır. Sonuçlar ayrıntılı olarak Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. THK'ne Ait Üsslerin Haftalık Talepleri

Periyot	$K_t$				$C(K_t)$	İniş-Kalkış (dk)	İndirme (dk)	Toplam Süre (dk)
	1	2	3	4				
1	4	6	9	2	127	5X20=100	4X30=120	347
2	3	1	11	-	76	4X20=80	3X30=90	246
3	7	8	10	-	79	4X20=80	3X30=90	249
4	5	-	-	-	36	2X20=40	1X30=30	106
5	-	-	-	-	-	-	-	-
Toplam Süre:					318	300	330	948

Elde edilen sonuca göre 5 periyodun 4'ünde dağıtım yapılmıştır ve tüm periyotlara ait toplam süre, yani minimize edilmeye çalışılan amaç fonksiyonu değeri, 948 dakika olarak

bulunmuştur. Toplam uçuş süresi 318, iniş kalkışların toplam süresi 300 ve taleplerin indirilmesinde harcanan toplam süre ise 330 dakika bulunmuştur. İniş kalkış sürelerinin hesaplanmasına başlangıç noktasından kalkış ve tur sonunda iniş bir ve uğranılan şehir sayısı kadar iniş-kalkış olmak üzere periyotlar için sırasıyla 5, 4, 4, 2 ve 0 olarak gerçekleşmiştir. İndirme süreleri ise uğranılan üss sayısının indirme süresi olan 30 ile çarpımıyla elde edilmiştir ve sırasıyla periyotlar için 120, 90, 90 ve 30 dakika olarak gerçekleşmiştir.

Birinci periyoda ait tur Kayseri'den (12) başlamak üzere sırasıyla 4, 6, 9 ve 2. üsslere uğrayarak tekrar 12. üsse geri dönme şeklinde gerçekleşmiş olup, toplam süresi 347 dakikadır. Tura ait harita bilgisi Şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 6. 1. Periyoda Ait Turun Haritada Gösterimi



İkinci periyoda ait tur 12. üssten başlamak üzere sırasıyla 3, 1 ve 11. üsslere uğrayarak tekrar Kayseri'ye geri dönme şeklinde gerçekleşmiş olup, toplam süresi 246 dakikadır. Tura ait harita bilgisi Şekil 7'da verilmiştir.

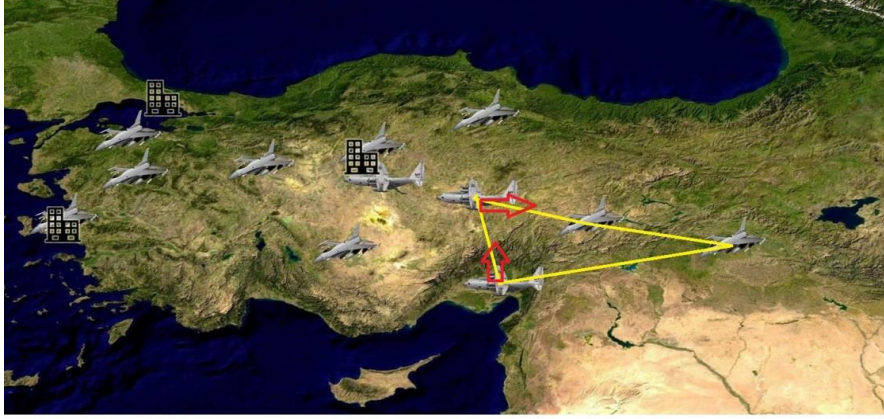
Şekil 7. 2. Periyoda Ait Turun Haritada Gösterimi



Üçüncü periyoda ait tur 12. üssten başlamak üzere sırasıyla 7, 8 ve 10. üsslere

uğrayarak tekrar Kayseri'ye geri dönme şeklinde gerçekleşmiş olup, toplam süresi 249 dakikadır. Tura ait harita bilgisi Şekil 8'de verilmiştir.

Şekil 8. 3. Periyoda Ait Turun Haritada Gösterimi



Dördüncü periyotta sadece 5. üss olan Amasya'ya gidilip gelinmektedir. Bu tura ait toplam süre 106 dakikadır ve tura ait rota Şekil 9'da gösterilmiştir.

Şekil 9. 4. Periyoda Ait Turun Haritada Gösterimi



Son periyotta, tüm üssler önceki periyotlarda ziyaret edilmiş olduğundan herhangi bir uçuşa ihtiyaç kalmamıştır.

## 5. Sonuç

Makalemizde, daha önce literatürde ele alınmamış olan PGSP'nin özel bir hali olan kapasite ve mesafe kısıtlı periyodik gezgin satıcı problemi ele alınmıştır. GSP problemlerinin genelinde kapasite veya mesafe dikkate alınmamaktadır. Ancak gerçek dünya uygulamalarının bir kısmında bu kısıtlar karşımıza çıkabilmektedir. Önerilen yeni problemle, karşılaşılabilecek bu tip uygulamalar için bir çözüm tavsiyesinde bulunulmuş olmaktadır. Uygulama olarak Türk Hava Kuvvetlerinin bünyesinde yer alan ve daha fazlası için sipariş verilmiş olan

(www.militaryaircraft-airbusds.com, 2016) A400M uçağının ülkemizdeki askeri üsslerdeki bir dağıtım problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü için, benzer problemlerde kullanılmış olan ve geniş bir uygulama alanı olan genetik algoritma seçilmiştir. Gerek HKK ve gerekse askeri, sivil; devlet ve özel kurumların çoğunda buna benzer operasyonel problemlerle ilgili kararlar her gün alınmaktadır. Bu tip uygulamaların olduğu kurumlarda, karar destek sistemi olarak çalışmamızda ele alınan genetik algoritma veya benzeri çözüm yöntemleri kullanılabilir. Bu konuda özellikle ülkemizde uygulamada kullanılabilecek bu tip problemlere pratik çözümler üreten yazılım programı boşluğu bulunmaktadır. Bu konuda disiplinler arası çalışmalar ve projelerle bu tip yazılımlar üretilip, uzun vadede özelde ülkemiz ve bu tip yazılımların kullanılmadığı veya az kullanıldığı ülkelere için ciddi kazanımlar elde edilmesi mümkündür. Sonuçlar yapılan tüm çalıştırmalarda aynı sonucu vermiştir. İstikrarlı ve iyi sonuç vermesinin bir sebebi problemin NP-Zor sınıfı problemlerden biri olmasına rağmen küçük bir problem olması olasıdır. Bu sebeple önerilen problem, farklı zorluklarda test problemleri üretilerek genetik algoritma veya benzer metasezgisellerle çözülmeye çalışılabilir. Ayrıca deterministik yöntemlerle çözülmek üzere ikili programlama matematiksel modeli üzerinde de çalışmalar yapılabilir.

#### Kaynakça

BASSETTO, Tatiana ve MASON, Francesco (2011), "Heuristic algorithms for the 2-period Balanced Travelling Salesman Problem in Euclidean Graphs", *European Journal of Operational Research*, Volume 208, Issue 3, pp. 253-262.

BERTAZZI, Luca; PALETTA, Giuseppe; SPERANZA, M. Grazia (2004), "An improved heuristic for the period traveling salesman problem", *Computers & Operations Research*, Volume 31, Issue 8, pp. 1215-1222, <http://www.sciencedirect.com/>, Erişim Tarihi: 12.04.2016.

CACCHIANI, Valentina; HEMMELMAYR, Vera C.; TRICOIRE, Fabien (2014), "A set-covering based heuristic algorithm for the periodic vehicle routing problem", *Discrete Applied Mathematics*, Volume 163, pp. 53-64, <http://www.sciencedirect.com/>, Erişim Tarihi: 12.04.2016.

CHAO, I-Ming; GOLDEN, Bruce L.; WASIL, Edward A. (1995), "A new heuristic for the period traveling salesman problem", *Computers & Operations Research*, Volume 22, Issue 5, pp. 553-565, <http://www.sciencedirect.com/>, Erişim Tarihi: 10.04.2016.

CHENG, Runwei; GEN, Mitsuo; TSUJIMURA, Yasuhiro (1996), "A tutorial survey of job-shop scheduling problems using genetic algorithms—I. Representation", *Computers & Industrial Engineering*, Volume 30, Issue 4, pp. 983-997.

CHRISTOFIDES, Nicos ve BEASLEY, John E. (1984), "The period routing problem", *Networks*, Volume 14, Issue 2, pp. 237-256.

CORDEAU, Jean-François; GENDREAU, Michel; LAPORTE, Gilbert (1997), "A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems", *Networks*, Volume 30, Issue 2, pp. 105-119, <https://scholar.google.com.tr>, Erişim Tarihi: 12.04.2016.

DANIEL, Reckzeh (2008), Aerodynamic design of the A400M high-lift system, 26th International Congress of the Aeronautical Sciences, 14-19 September, Anchorage, Alaska, USA, pp. 1-8.

DUECK, Gunter, (1993), "New optimization heuristics: the great deluge algorithm and the record-to-record travel." Journal of Computational physics, Volume 104, Issue 1, pp. 86-92.

EILON, Samuel; WATSON-GANDY, Carl Donald Tyndale; CHRISTOFIDES, Nicos (1971), Distribution management, Griffin, London.

GHIANI, Gianpaolo; GUERRIERO, Francesca; IMPROTA, Gennaro; MUSMANNO, Roberto (2005), "Waste collection in Southern Italy: solution of a real-life arc routing problem", International Transactions in Operational Research, Volume 12, Issue 2, pp. 135-144.

GOLDBERG, David Edward (1989), Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison Wesley Publishing Company, New York, USA.

JONES, Dylan F.; MIRRAZAVI, S. Keyvan; TAMIZ, Mehrdad (2002), "Multi-objective meta-heuristics: An overview of the current state-of-the-art", European journal of operational research, Volume 137, Issue 1, pp. 1-9, <http://www.sciencedirect.com/>, Erişim Tarihi: 10.04.2016.

KESKİNTÜRK, Timur; YILDIRIM; Mehmet Bayram; BARUT, Mehmet (2012), "An ant colony optimization algorithm for load balancing in parallel machines with sequence-dependent setup times", Computers & Operations Research, Volume 39, Issue 6, pp. 1225-1235.

KUZU, Sultan; ÖNAY, Onur; ŞEN, Uğur; TUNÇER, Mustafa; YILDIRIM, Bahadır Fatih; KESKİNTÜRK, Timur (2014), "Gezgin satıcı problemlerinin metasezgiseller ile çözümü", Journal of the School of Business, Sayı 43, Cilt 1, pp. 1-27.

MENENDEZ, Jose Luis; MAS, Fernando; SERVAN, Javier; RIOS, Jose; MARCOS, Mariano; SALGUERO, Jorge (2012), Virtual verification of the AIRBUS A400M final assembly line industrialization, AIP Conference Proceedings-American Institute of Physics, 27-30 Kasım, Sayı: 1431, No: 1, pp. 641-648, [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net), Erişim Tarihi: 10.04.2016.

MICHALEWICZ, Zbigniew (1992), Genetic Algorithms + Data Structure = Evolution Programs, Springer-Verlag, Berlin, 1992.

OBITKO, Marek (1998), Genetic Algorithms, (Online), erişim linki: <http://cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga/> Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden(FD), Erişim Tarihi: 10.04.2016.

PACHECO, Joaquín; ALVAREZ, Ada; GARCÍA, Irma; ANGEL-BELLO, Francisco (2012), "Optimizing vehicle routes in a bakery company allowing flexibility in delivery dates", Journal of the Operational Research Society, Volume 63, Issue 5, pp. 569-581.

PALETTA, Giuseppe (1992), "A multiperiod traveling salesman problem: heuristic algorithms.", Computers & operations research, Volume 19, Issue 8, pp. 789-795, <http://www.sciencedirect.com/>, Erişim Tarihi: 10.04.2016.

PALETTA, Giuseppe (2002), "The period traveling salesman problem: a new heuristic algorithm." Computers & Operations Research, Volume 29, Issue 10, pp. 1343-1352, <http://www.sciencedirect.com/>, Erişim Tarihi: 10.04.2016.

REEVES, Colin Richard (1995), Modern heuristic techniques for combinatorial problems, McGraw-Hill Book Company Inc., Europe, 1995.

SARKER, Ruhul ve NEWTON, Charles (2002), "A genetic algorithm for solving economic lot size scheduling problem", Computers & Industrial Engineering, Volume 42, Issue 2, pp.189-198.

[www.militaryaircraft-airbusds.com](http://militaryaircraft-airbusds.com) (2016), Delivery to the Point of Need, <http://militaryaircraft-airbusds.com/>, Erişim Tarihi: 10.04.2016.