

YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI İLE GEZİCİ ROBOTUN HARİTALANMIŞ SAHADA GEZİNME MALİYETİNİN OPTİMİZASYONU

M. Akif FINDIKLI^{1*}, Sara ALTUN², Eda FENDOĞLU³, Hasan SÖYLER⁴

¹Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

²Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

³Ekonometri Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

⁴Ekonometri Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

*Sorumlu Yazar: m.akif.findikli@inonu.edu.tr

+Konuşmacı: m.akif.findikli@inonu.edu.tr

Sunum/Makale Tipi: Sözlü / Tam Metin

Özet— Bu çalışmada, gezici robotun verilen sahayı tam gezinmesi problemi Çinli Postacı Problemine benzetilerek çözülmeye çalışılmış, çözümün eşleşme adımına Yapay Arı Kolonisi Algoritması ile çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Haritalanmış sahanın grafinin tek dereceli düğümlere sahip olması, gezici robotun bu sahayı tüm ayrıtlardan bir kez geçerek tamamen dolanmasını imkansız hale getirmektedir. Sahanın tek dereceli düğümlerinin çiftlenerek tam rotalamayı mümkün hale getiren Eulerian Graf'a çevrimi yapılmıştır. Sahadaki tek düğüm sayısının fazlalığı çiftlenecek düğüm kombinasyonlarını metasezgisel olmayan yöntemler ile çözümlenmesini imkansız hale getirdiği için, eşleşecek optimum noktalar metasezgisel bir yöntem olan Yapay Arı Kolonisi Algoritması ile bulunmuştur. Eşleşme problemi nümerik bir problem olmadığı için Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının gözcü arı davranışı modifiye edilmiştir. Önerilen değişikliklerle MATLAB ortamında geliştirilen uygulama sonucunda elde edilen yeni graf sayesinde gezici robotun minimum maliyet ile sahanın her ayrıtını gezmesi sağlanmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Gezici Robot, Yapay Arı Kolonisi Algoritması, Çinli Postacı Problemi, Euler Graf

Abstract— In this study we attempted to find a solution to full navigation of a traveler robot in a given mapped field by simulating this problem to Chinese Postman Problem and by Artificial Bee Colony algorithm which used for matching step of solution. The fact that the graph of the mapped area has odd nodes makes it impossible for the traveler robot to navigate this field completely after passing each edge once. We converted the field to Eulerian Graph, which makes full routing possible, by matching odd nodes. Since the large numbers of odd nodes in the field increases combinations of pairs to be matched that cannot be solved with non-metaheuristic techniques, the optimum nodes to be matched are attempted to be found by Artificial Bee Colony Algorithm which is a metaheuristic technique. Since the problem of matching odd nodes is not a numerical problem, the observer bee behavior of the Artificial Bee Colony Algorithm has been modified. Due to the new graph, which was developed as a result of the application developed in MATLAB with the proposed changes, it has been attempted to ensure that the traveling robot travels with each edge of the field with minimum cost.

Keywords – Traveling Robot, Artificial Bee Colony Algorithm, Chinese Postman Problem, Euler Graph

I. GİRİŞ

Gündelik hayatta ve endüstriyel alanda ihtiyaç duyulan görevleri yerine getirmek için birçok robot ve robot uygulamaları geliştirilmiştir. Bu robotlar tamamen mobil olup otonom işlemler gerçekleştirebileceği gibi, bir platforma bağlı bir şekilde önceden kodlanmış emirleri yerine getiren bir mekanik bir uzuv da olabilir [1].

Günlük hayatımıza dahil olan temizlik robotu, gözlem robotu gibi amacı verilen sahayı etkili bir biçimde gezmek olan robotlar için değişik yaklaşımlar önerilmiştir. Bu yaklaşımlara sahayı önceden RFID etiketleri ile donatma, tavana veya tabana yerleştirilen çizginin takibi yöntemleri örnek verilebilir. [2, 3] RFID etiketlerinin veya takip edilecek analog veya dijital çizgilerin oluşturulması, gezilecek sahanın önceden haritalanmış olması ile mümkündür. Bu haritalanmış

alanda robotun gezinmesi önceden belirlenmiş çizgiler üzerinde otonom veya otonom olmayan yöntemlerle geliştirilmiş rotalar ile gerçekleşmektedir. Bu rotalar takip edilecek yollar (ayrıt) veya kavşaklar ve köşe noktalarından (düğüm) oluşmaktadır. Ayrıtlardan ve düğümlerden oluşan bu rotalar graf yapısındadır ve literatürde bulunan graf teorisi işlemleri için uygundur [4].

Verilen sahada, robotun en düşük maliyetle gezebilmesi için bu sahada tüm ayrıtlardan en az bir kere geçmesi ve bu alanı tam olarak gezebilmesi için geçtiği ayrıtlardan tekrar geçme davranışını da minimum düzeyde gerçekleştirmesi gerekmektedir. Guan, bu probleme benzeyen Çinli Postacı Problemine önerdiği çözümde sahanın optimum maliyetle tam gezilebilmesinin, graf yapısında bulunan üzerinde tek sayıda ayrıta sahip düğümleri (tek dereceli düğüm) birbirleriyle uygun bir şekilde eşleştirerek bu düğümler arasında bulunan

ayrıtların tekrar edilmesi ile gerçekleşebileceğini göstermiştir [5]. Oluşabilecek tüm eşleşmeler metasezgisel olmayan yöntemler ile optimize edilmeye çalışıldığında, zaman karmaşıklığı $O(n!^2)$ olmaktadır. Bu zaman karmaşıklığı çok sayıdaki tek dereceli düğümlerin eşleşmelerinin metasezgisel olmayan yöntemler ile bulunmasını oldukça güçleştirmektedir. Eşleşme problemi için daha önce metasezgisel yöntemlerden genetik algoritma önerilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [6].

Eşleşme problemi nümerik olmayan bir problemdir. Nümerik olmayan problemlerde Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının da başarılı olduğunu gözlemlemiş [7], ve Karaboğa ve Baştürk ise yapay arı algoritmasının genetik algoritmaya göre daha başarılı sonuçlar elde ettiğini ortaya koymuştur [8].

Bu çalışmada Yapay Arı Kolonisi Algoritması, Çinli Postacı Probleminin çözümünün eşleşme adımı için önerilmiş ve adapte edilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Çalışılan Saha

Bu çalışmada Şekil 1 'de görülen "RC Hospital & Clinics" binasının klinik servislerinin planı, varsayımsal gezici temizlik robotumuzun çalışma sahası olarak düşünülmüştür. Temizlik robotunun tesisin tüm odalarını ve koridorlarını dolaşarak temizlemesi istenmektedir. Robot bir odaya girdiğinde, Şekil 1'de koyu siyah çizgiler ile ifade edildiği gibi odanın iç çeperinden bir tur attığı zaman temizliğin o oda için tamamlandığı kabul edilmiştir. Koridor temizliği ise robotun koridordan geçmesi ile tamamlanmaktadır. Çalışmaya, istenen çözümün daha sade bir şekilde uyarlanabilmesi adına, tesisin boş ve insansız olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 1. Hastanenin Kat Planında Graf Gösterimi

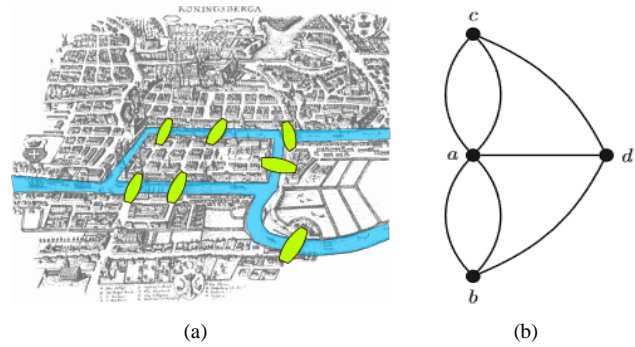
B. Çinli Postacı Problemi

Graf teorisi ilk defa 1736 yılında Leonhard Euler tarafından literatüre kazandırılmıştır. Euler bu teorisini meşhur Königsberg köprü problemi çözme çalışması ile öne sürmüştür [4]. Şekil 2 (a)'da görülen Pregel nehri üzerinde yedi köprü bulunmaktadır. Eulerin iddiasına göre bu yedi

köprünün oluşturduğu kapalı döngüde her bir köprüyü bir kere kullanılmak şartıyla başlanılan noktaya ulaşmak imkansızdır. Problemin Euler tarafından Şekil 2 (b)'deki gibi benzetimi graf teorisinin de temellerini atmıştır [9].

Bu teoriye göre en az iki yolun birleştiği noktalara düğüm (node) denir. Bu iki düğümü birleştiren yollara da ayrıt (edge) denir. Eğer bir düğümden tek sayıda ayrıt çıkıyorsa bu düğüme tek dereceli düğüm (odd node), çift sayıda ayrıt çıkıyorsa çift dereceli düğüm (even node) denir. Eğer bir grafta her bir ayrıttan yalnızca bir kere geçilerek tüm ayrıtların tamamı gezilerek başlanılan noktaya dönülüyorsa bu graf Eularian'dır denir. Eğer bir grafta bulunan tüm düğümler çift dereceli düğüm ise bu graf ancak ve ancak Eularian graftır [9,10]. Çünkü bir noktanın çift dereceye sahip olması, o noktaya gidilen her bir ayrıt için çıkılacak bir ayrıt olduğunu garantiler.

Euler'in Königsberg Köprü Problemi'nin çözülmesinin imkansız olduğunu söylemesinden 256 yıl sonra matematikçi ve programcı olan Meigu Guan bu köprü problemine benzer bir problemi çözebilmiştir. Bu problem, bir postacının şehirdeki tüm sokaklara uğrayarak dağıtacağı mektupları sahiplerine ulaştırıp, başladığı noktaya en az mesafeyi yürüyerek dönmek istemesi ile ortaya çıkmıştır [5]. Köprü problemindeki gibi her bir sokağa bir kez girilmesi yeterli ve gerekli olduğundan, geçilen sokaklardan tekrar geçilmemesi istenmektedir. Ancak Euler'in de belirttiği gibi bu durum grafta tek dereceli düğümler var ise istenen bu durum mümkün olmayacağından, Guan bazı yollara sanal ek yollar eklenerek tam döngünün oluşturulabileceğini göstermiştir.



Şekil 2. (a) Königsberg Köprü Problemi
(b) Pregel Nehrinin Yedi Köprüllü Graf Yapısı [9].

Guan bu problemin çözümü için izlenecek adımları şu şekilde sıralamıştır [11];

- Öncelikle gezilecek graftaki tüm tek dereceli düğümler belirlenir.
- Tüm tek dereceli düğümlerin olası bütün eşleşmeleri (matching) yapılır.
- Her eşleşen düğüm çiftlerini birbirlerine bağlayan en kısa rotalar belirlenir.
- Tüm eşleşme serileri bulunduktan sonra, o eşleşme serisi içindeki ikililerin aralarındaki en kısa mesafelerin toplamı en az olan eşleşme seçilir.
- Bu eşleşme serisinin ikililerini birbirlerine bağlayan en kısa mesafelere yeni ayrıtlar eklenir.

Bu çözümün maliyeti, başlangıç grafinde bulunan tüm ayrıtların uzunlukları toplamı ile yeni eklenen ayrıtların uzunlukları toplamıdır.

V düğümler kümesini ve A ayrıtlar kümesini belirtmek üzere $G = (V, A)$ yönsüz grafında $e(i, j)$, i . ve j . düğümlerini birbirine bağlayan bir ayrıtı temsil etmektedir. x_{ij} , $e(i, j)$ 'den geçiş sayısını $c(i, j)$ ise bu ayrıtın uzunluğunu belirtmektedir.

Problemin maliyet fonksiyonu Eşitlik 1'de verilmiştir. Bu denklemde amaç, postacının turunu tamamlaması için yürüyeceği $f(x)$ yolunu optimize etmektir.

$$f(x) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=i}^n c_{i,j} x_{i,j} \quad (1)$$

Bu problemin çözümü için geçiş sayısının doğal sayı (N) olması ve Eşitlik 2 ile Eşitlik 3'teki kısıtların sağlanmış olması gerekmektedir. Eşitlik 2'de $x_{i,j}$ geçiş sayısının en az bir olması gerekliliğidir. Eşitlik 3'teki kısıt ise başlangıç noktasından uzaklaşılan her bir hareket için başlangıç noktasına yaklaşılacak bir ters hareket olması gerekliliğidir.

$$x_{i,j} + x_{j,i} \geq 1 \quad (2)$$

$$\sum_{i:(i,j) \in A} x_{i,j} = \sum_{i:(i,j) \in A} x_{j,i} \quad (3)$$

C. Yapay Arı Kolonisi Algoritması

Algoritma 2005 yılında KARABOĞA tarafından geliştirilmiştir [12]. Yapay Arı Kolonisi Algoritması bal arılarının besin bulma davranışını modellemektedir. KARABOĞA'nın modeline göre arılar en iyi besin kaynağını bulmak için diğer arılardan aldıkları bilgiye göre yeni kaynaklar keşfetme yönelimindedir. Tüm besin kaynakları tüketildiğinde ise arılar rasgele yerlerde besin arayışlarına devam edecektir. Algoritmanın adımları Şekil 3'te görülebilir.

REPEAT

- İşçi arıları besin kaynaklarına gönder ve bu kaynaklardaki nektar bilgisini ölç
- Kaynakların gözcü arılar tarafından seçilebilmeleri için kaynakların olasılık değerlerini hesapla
- Gözcü arıları bu kaynaklara dağıt
- Arıların nektar toplama işlemini tamamla
- Kâşif arıları rasgele bölgelere yeni besin kaynağı bulmaları için gönder
- En iyi besin kaynağını hafızaya al

UNTIL (gereksinimler tamamlanana kadar)

Şekil 3. ABC Algoritmasının Adımları

Modellenen algoritmada işçi arılar Eşitlik 4'deki denkleme göre çözüm uzayında rasgele bir yere konumlandırılırlar.

$$x_{ij} = x_{ij}^{\min} + \text{rand}(0, 1)(x_{ij}^{\max} - x_{ij}^{\min}) \quad (4)$$

Burada x_i arıları, j ise çözülmesi istenen problemin j . parametresini ifade eder. Her bir arı çözüm uzayında parametrelerinin aldığı rasgele değerlere göre pozisyon alır. Bu değerler önceden tanımlanmış olan minimum ve maksimum sınırları aşmayacak şekilde oluşturulur. Daha sonra algoritmanın işçi arı adımı çalışmaya başlar. Bu adımda her bir arı, rasgele bir arıdan aldığı bilgiye göre bu arının komşuluğunda Eşitlik 5'teki denkleme olduğu gibi yeni bir çözüm üretmeye çalışır. V_{ij} , i . arının j . parametresi için önerilen yeni bir değerdir. Bu parametrenin yeni değeri,

alandaki başka bir arının aynı parametresinden alınan bilgiye (x_{kj}) göre güncellenmektedir. Burada φ ilerlenecek adımın katsayısını belirtmektedir.

$$V_{ij} = x_{ij} + \varphi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (5)$$

Yeni parametre değeri ile bulunmuş olan çözümün uygunluğu Eşitlik 6 ile hesaplanır. Eğer daha uygun bir çözüm üretilmişse Açgözlü seleksiyon işlemi uygulanarak, eski çözüm göz ardı edilip yeni çözüm hafızaya alınır. Burada dikkat edilmesi gereken, yeni üretilen çözümün her zaman eskisinden daha iyi olamayacağıdır.

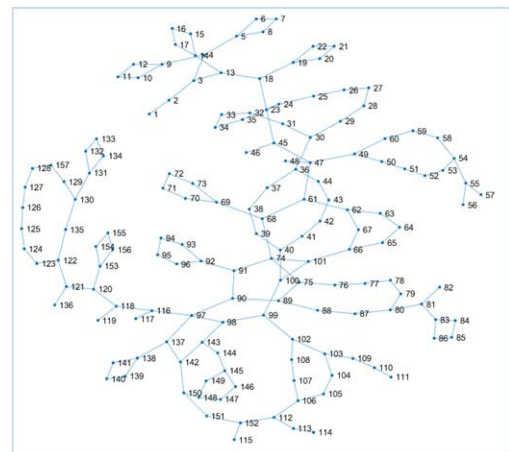
$$\text{fitness}_i = \begin{cases} 1/(1 + fi), & fi \geq 0 \\ 1 + \text{abs}(fi), & fi < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Tüm işçi arılar yeni kaynak bölgeleri belirledikten sonra, bu kaynakların da etrafında yeni çözüm arayacak olan gözcü arılara buldukları besin kaynağı hakkında bilgi verebilmek için, kaynaklarının uygunluklarını Eşitlik 7'deki gibi hesaplarlar.

$$p_i = \frac{\text{fitness}_i}{\sum_{j=i}^N \text{fitness}_j} \quad (7)$$

Bu uygunluk değerlerine göre etraftaki gözcü arılar *rus ruleti* olasılıksal dağılım metodunu kullanarak bulunmuş olan besin kaynaklarının kalitesine göre alanda dağılırlar. Bu adıma Gözcü Arı Adımı denir.

Gözcü arılar seçtikleri besin kaynağının komşuluğunda daha iyi bir çözüm aramak için işçi arıya dönüşmeden önce, yeni çözüm üretememe sayaçlarını kontrol ederler. Eğer bu sayaç önceden belirlenmiş limiti aşmış ise arı kâşif arıya dönüşerek bulunduğu besin kaynağını terkedip alanda bir pozisyona yine Eşitlik 4'deki gibi rasgele yerleşir. Bu adıma da Kâşif Arı adımı denilmiştir. Bununla birlikte algoritma ilk iterasyonunu tamamlayıp tekrar işçi arı adımına dönmektedir.



Şekil 3. Hastane için oluşturulan grafın MATLAB ortamında Gösterimi

III. UYGULAMA

Çalışılacak olan saha, robotun gezeceği Şekil 1'de görüldüğü gibi tasarlanmış, Şekil 3'te bu tasarımın grafi

paylaşmıştır. Bu grafin komşuluk matrisi her köşeye bir id atanarak oluşturulmuştur.

Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının Çinli Postacı Problemi üzerinde kullanılabilmesi için Yapay Arı Kolonisi algoritmasının parametre değiştirme özelliği problemimize uyarlanmıştır. Arıların çözüm uzayında rasgele dağılımları, tek dereceli noktalar kalmayana kadar yapılan ikili kombinasyonlar ile ifade edilmiştir. Bu şekilde oluşturulan bir arı örneğini Şekil 4 (a)'da görmek mümkündür. Arının sahip olduğu her çift ayrı bir parametreyi ifade etmektedir. Şekil 4 (a)'daki örnek arının 5 parametrelili olduğu söylenebilir. Değişecek olan parametre Şekil 4 (b)'deki gibi rasgele seçilmektedir. Bu parametre yerine önerilen yeni çift, eski çift ile yer değiştirirken, diğer çiftlerin de bu değişikliklerden etkilenmesi olasıdır. Algoritmanın orjinal halinde parametre değişikliği diğer parametrelerden bağımsızdır. Ancak bizim problemimizde bir çiftin değişmesi iki farklı çiftin de değişebilmesini gerektirebilir. Güncellenecek çiftten farklı iki çiftin değiştirilmesinin gerektiği örnek bir durum Şekil 4 (c)'de gösterilmiştir.

Algoritmanın uygunluk değerini hesaplaması için gerekli maliyet fonksiyonu Eşitlik 8 ile ifade edilmiştir. Bu eşitlikte n graftaki düğüm sayısını, $s_{i,j}$ her iki düğüm arasındaki ayrıt sayısını, $d(i,j)$ ise i . ve j . düğümler arasındaki ayrıtın uzunluğunu ifade etmektedir. Eğer grafta tek dereceli en az bir çift nokta varsa maliyet kesinlikle ilk graftaki ayrıtların uzunluğu toplamından fazla olacaktır. Temizlik robotu eşleşmelerden sonra tüm ayrıtlardan geçeceği için toplam maliyet fonksiyonuna graftaki tüm ayrıtlar eklenmiştir. Ancak çözüm için yalnızca eklenen ayrıtların uzunluğu toplamı da maliyet fonksiyonu olarak kullanılabilir.

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n s_{i,j} * d(i,j) \quad (8)$$

Bu değişiklikler ve aşağıdaki başlangıç değerleri ile çözüm bulunmaya çalışılmıştır.

Başlangıç Değerleri;

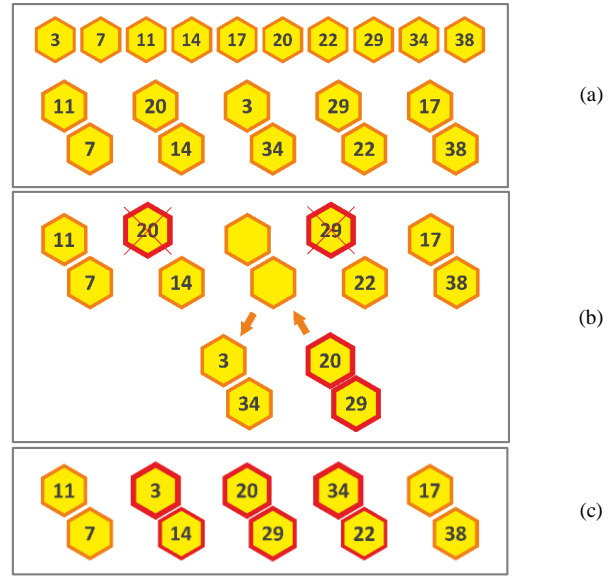
- Maksimum iterasyon: 1000
- Populasyon: 100
- Deneme limiti: 50
- Başlangıç maliyeti: 742 metre

Uygulama sonucunda eşleşecek olan düğümler ve bu düğümler arasındaki en kısa ayrıtlar çiftlenmiş şekilde sonuç grafi elde edilmiş ve Şekil 5'te paylaşılmıştır. Şekil 6'daki grafikte tam tur maliyetinin iterasyona bağlı değişimi görülmektedir. Çözüm grafinde tüm düğümlerin çift olması bu grafta her ayrıttan bir kez geçilerek üretilen en az bir tur olacağını göstermektedir. Oluşabilecek her tur tüm ayrıtlardan sadece bir kere geçeceği için, oluşturulabilecek tüm turların maliyetinin aynı olması beklenmektedir.

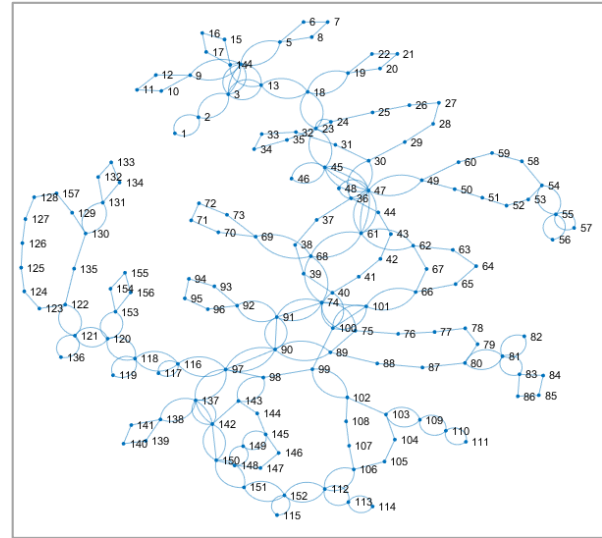
IV. SONUÇ

Çalışmanın sonucunda Yapay Arı Kolonisi Algoritması için önerilen değişiklikler başarılı bir şekilde uygulamaya entegre edilmiştir. Uygulama sonucunda bir gezici robotun haritalanmış sahadaki tam gezinimi optimize edilmeye çalışılmış ve çıktı olarak üretilen çiftlenmiş düğümlere sahip graf incelendiğinde optimizasyon sonucunun oldukça tutarlı sonuçlar ürettiği gözlemlenmiştir. Çalışmanın devamında

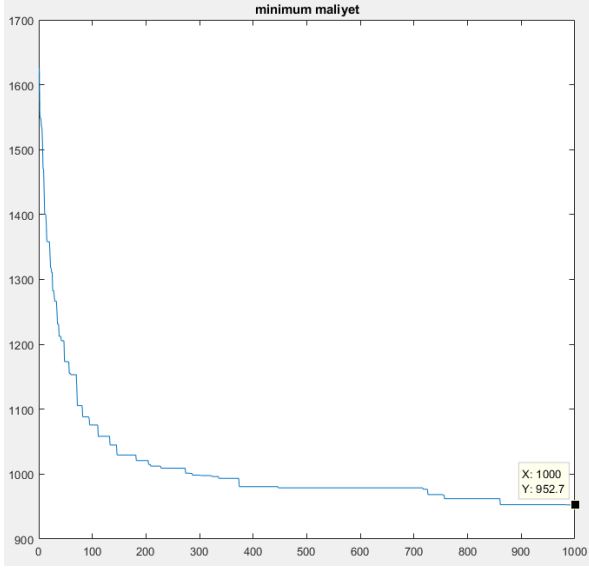
geliştirdiğimiz uygulama tarafından çıktı olarak verilen graf üzerinde euler turları oluşturma uygulamaları geliştirilebilir.



Şekil 4. (a) Tek Dereceli Düğümlerden Oluşmuş Bir İşçi Arı (b) Rasgele Seçilmiş Bir Çiftin Yeni Çift İle Yer Değiştirmesi (c) Çiftler Değişiminin Diğer Çiftler Üzerindeki Etkisi



Şekil 5. Girdi Grafın Eulerian Çıktısı



Şekil 6. Maliyetin İterasyona Göre Değişimi

REFERENCES

- [1] Okutkan O., (2006). "Yapay Zeka ile Mobil Robot Kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. C., & Patil, A. P. (2003, March). LANDMARC: indoor location sensing using active RFID. In Pervasive Computing and Communications, 2003.(PerCom 2003). Proceedings of the First IEEE International Conference on (pp. 407-415). IEEE.
- [3] Wang, J., Luo, Z., & Wong, E. C. (2010). RFID-enabled tracking in flexible assembly line. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 46(1-4), 351-360.
- [4] Euler, L. (1736). Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis. Comm. Acad. Sci. Imper. Petropol., 8, 128-140.
- [5] Guan, M. (1962). Graphic programming using odd and even points. Chinese Math., 1, 237-277.
- [6] Hua, J., & Li-shan, K. (2003). Genetic algorithm for Chinese postman problems. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 8(1), 316-318.
- [7] Küçükşille, E. U., & Tokmak, M. (2011). Yapay arı kolonisi algoritması kullanarak otomatik ders çizelgeleme. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15(3).
- [8] Karaboga, D., & Basturk, B. (2007, June). Artificial bee colony (ABC) optimization algorithm for solving constrained optimization problems. In International fuzzy systems association world congress (pp. 789-798). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [9] Saoub, K. R. (2017). A Tour Through Graph Theory. Chapman and Hall/CRC.
- [10] Harary, F., & Palmer, E. M. (1973). Graphical Enumeration, Acad. Press, NY.
- [11] Söyler, H., & Fendoğlu, E. (2018). Malatya Büyükşehir Belediyesi İlaçlama Araçlarının Güzergâhlarının Optimizasyonu. Alphanumeric Journal, 6(1), 13-24.
- [12] Karaboga, D. (2005). An idea based on honey bee swarm for numerical optimization (Vol. 200). Technical report-tr06, Erciyes university, engineering faculty, computer engineering department.