



Montaj Hattı Dengelemede Genetik Algoritmaların Kullanımı: Yeni Bir Yöntem

Using Genetic Algorithms in Assembly Line Balancing: a New Method

Onur Mert Çeldir^{1*}, Semih Utku¹

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, İzmir, Türkiye
Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: onur.celdir@ceng.deu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 15.01.2021

Kabul Tarihi / Accepted: 30.10.2021

Atıf şekli / How to cite: ÇELDIR, O.M., UTKU, S. (2022). Montaj Hattı Dengelemede Genetik Algoritmaların Kullanımı: Yeni Bir Yöntem. DEUFMD, 24(71), 365-373.

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2022247103

Öz

Günümüzde endüstriyel otomasyon uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte, farklı yapay zeka çözümleri üretime dahil olmuştur. Bu çözümler, üretimi doğrudan kontrol edebilmekte ve üretimin planlamasını kendi kendine yapabilmektedir. Planlama aşamasının otomatik yapılabileceği alanlardan bir tanesi de montaj hatlarıdır. Montaj hatları, ürünlerin parçalarının sistematik bir şekilde birleştirildiği üretim hatlarıdır. Montaj hatlarının, gelen taleplerin miktarı veya çeşidine göre yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Düzenleme sürecinde, montaj hattı dengeleme problemi karşılarız. Bu çalışmada montaj hattı dengeleme problemi için stokastik arama yöntemlerinden genetik algoritmaların kullanımında yeni bir çaprazlama ve mutasyon yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemin bulunduğu sonuçlar, istasyon bazlı görev dağıtımında kullanılan bir yerel arama prosedürüyle güçlendirilmiştir. Geliştirilen algoritmalar Python programlama dili ile kodlanmış ve bir montaj hattı üzerinden test edilmiştir. Genetik algoritmaların kullanıldığı deneylerde hat etkinliğinde %1-1.5 artışa rastlanmıştır. Yerel arama prosedürüyle yapılan deneylerde %0.1-0.2 arası artış gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Montaj Hattı Dengeleme, Genetik Algoritma, Optimizasyon, Üretim Planlama

Abstract

Today, the use of industrial automation applications has increased. Along with this, different artificial intelligence solutions have been included in production. These solutions can directly control production or they can plan the production. One of these application areas is assembly lines. Assembly lines are production lines in which parts of products are systematically assembled. Assembly lines need to be changed according to the quantity or type of request. In this process, assembly line balancing problem is encountered. In this study, a new crossover and mutation method is proposed in the use of genetic algorithms, one of the stochastic search methods, for the assembly line balancing problem. Furthermore, the proposed method is improved by a local search procedure used in station-oriented task distribution. The developed algorithms are written in Python programming language and tested on an assembly line. With Genetic Algorithms, an increase of 1-1.5% in line efficiency was observed. In experiments with the local exploration process, an increase of 0.1-0.2% was observed.

Keywords: Assembly Line Balancing, Genetic Algorithm, Optimization, Production Planning

1. Giriş

Montaj hattı dengeleme(MHD) problemi, hat üzerindeki görevleri farklı iş istasyonlarına dağıtıp, optimum çözüme ulaşmayı amaçlar. MHD sayesinde birçok üretim tesisi üretim maliyetini ve süresini düşürmüş, hiçbir ekstra maliyet yapmadan verimlilik artışı yakalamıştır. Literatürde yapılan birçok çalışma bu durumu doğrulamaktadır[1]. Günümüzde birçok üretim tesisinde bu konuyla ilgilenen uzmanlar vardır. Bazı üretim yürütme sistemi (MES) yazılımları hat dengelemeyi otomatik olarak yapmaktadır. Proplanner isimli uygulama en yaygın olan uygulamalardan bir tanesidir [2].

MHD problemi, NP-zor kombinasyonel optimizasyon problemleri başlığı altında incelenen bir problemdir. Lazarev, yaptığı çalışmada tek modellenmiş montaj hatlarında bile MHD'nin kompleksitesinin ne kadar yüksek olduğunu hesaplamıştır [3]. Bu problemin çözümünde bazı sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler genel olarak görevlerin ardıllarının sayısı, ardıllarının görev sürelerinin toplamı gibi hesaplanabilir faktörlere bakar [4]. Ancak bu yöntemler hızlı ve kolay olmasına rağmen zaman zaman yetersiz kalabiliyorlar.

Bu yüzden sezgisel yöntemler dışında meta-sezgisel yöntemlere başvurulabilir. Benzetimli tavlama [5], karınca kolonisi algoritması [6], tabu araması [7], genetik algoritmalar [8] gibi meta-sezgisel yöntemlerin denendiği çalışmalar vardır. Ancak geliştirilen yöntemlerin hiçbiri en iyi çözüm olmayı garanti etmez. Çünkü ihtimaller çok fazladır ve hat üzerinde insanlar da çalıştığı için psikolojik, çevresel birçok faktör vardır [9].

MHD'de genetik algoritmaların kullanılmasındaki en yaygın problem çaprazlama veya mutasyon aşamasında görevlerin öncüllük kısıtlarını ihmal edecek bir hale geliyor olmasıdır. Bunun için genellikle penalti puanı yöntemi uygulanması, hatalı çözümler düzeltilmeye çalışılması veya hatalı çözümlerin direkt yok sayılması gibi hata telafisi yöntemleri uygulanır. Yapılan bir çalışmada [10] farklı mutasyon olasılıklarında, paralel ve seri hatlarda genetik algoritmalar denenmiştir.

Görev dizilimleri belirlendikten sonra yapılan sezgisel istasyon bazlı görev atama yöntemleri yoğunlukla beklenenden daha düşük hat etkinliği değerleri alınmasına sebep olur. En

sondaki istasyonda iş yükünün düşük olması ile sonuçlanır. Eğer bu görev atamaları yapılırken birkaç görev uygun şekilde yan istasyonlara kaydırılırsa daha iyi sonuçlar elde edilebilir [11].

Bu çalışmada MHD'de genetik algoritmaların kullanımında hata telafisine ihtiyaç duyulmayacak yeni bir çaprazlama ve mutasyon yöntemi önerilmiştir. Sonrasında görevlerin istasyonlara dağıtılmasında yine genetik algoritmalar kullanılmıştır. Algoritmalar Python programlama dili ile kodlanmış ve test edilmiştir. Bulunan yöntemler mevcut var olan sezgisel yöntemlerle kıyaslanmıştır.

Çalışmanın organizasyonu şu şekildedir: 2. Bölümde ilişkili çalışmalar ve bu alanda yapılmış güncel akademik çalışmalar yer almaktadır. 3. Bölümde sezgisel algoritmaların ve genetik algoritmaların nasıl uygulandığı aktarılmıştır. Bölüm 4'te bir hat üzerinden genetik algoritmaların uygulanma aşamaları gösterilmiştir. 5. bölümde yapılan testlerin değerlendirilmesi ve sonuç kısmı aktarılmıştır. Bölüm 6'da, gelecek çalışmalar yer almaktadır.

2. İlişkili Çalışmalar

Montaj hattı dengelemeyle ilgili yapılan çalışmalar üretim planlamanın önem arzettiği sektörlerde yaygındır. Konfeksiyon [12], otomotiv sanayi [13], ev eşyası [14] gibi alanlarda birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar mevcut yöntemlerin, ilgili sektöre uyarlanmasıyla ilgilidir.

Yapılan bir çalışmada [15] hattın şekliyle ilgili olarak U-tipi hatların dengelenmesiyle ilgili yeni bir yaklaşım önermektedir. U-tipi hatlar çoğu zaman düz hatlara göre daha kullanışlıdır. Bu hatlarda aynı kişi aynı istasyonda kalarak hem giriş hem çıkış tarafında çalışabilir. Ancak, bu tip hatlarda statik yöntemleri kullanmak, olduğundan daha iyimser sonuçlar elde edilmesine sebep olabilir. Çünkü sürekli git-gel yapıyor olmak ergonomik açıdan problemler yaratır. Bulunan sonuçlar kağıt üzerinde olduğu kadar başarılı olmayabilir. Zülcha ve Zülchb [16] tarafından yapılan lojistik sektöründeki bir çalışma bu soruna bir çözüm sunmaktadır.

Montaj hatlarında genelde bir istasyonda tek bir işçi çalışır. Çevrim zamanı çalışan kişinin kapasitesine bağlıdır. Bir istasyonda birden fazla işçinin çalışması genelde beklenildiği gibi sonuç vermez. Bu konuda da iş parçacıklarının

çalışanlara paralel olarak atandığı bir çalışma [17] yapılmıştır.

Hat dengeleme probleminde meta-sezgisel yöntemlere yoğun bir şekilde başvurulur. Özcan ve Toklu [18] tarafından yapılan bir çalışmada otobüs, kamyon gibi uzun araçların üretiminde kullanılan iki yönlü montaj hatları için bir tabu araması algoritması önerilmiştir. Tabu araması yönteminin kullanıldığı, farklı stratejilerin geliştirildiği ve denendiği çalışmalar da [19-20]. bulunmaktadır.

Montaj hattı dengeleme gibi en iyileme problemlerinin çözümünde diferansiyel evrim algoritmaları(DEA) gibi çözümler de karşımıza çıkmaktadır. DEA Storn ve Price [21] tarafından ortaya atılan bir yöntemdir. DEA popülasyon temelli bir evrimsel algoritmadır ve düzgünlük indeksinin, çevrim süresinin enküçülenmesi gibi problemlere çözümler sunabilmektedir.

Karınca kolonisi algoritmaları MHD'de yaygın olarak kullanılan algoritmalarındandır. Bautista ve Pereira'nın [22] yaptığı çalışmada zaman ve alan kısıtlarının bulunduğu durumlarda montaj hatlarının dengelenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. McMullen ve Tarasewich [23] karınca kolonisi algoritmasının görev zamanları, paralel istasyonlar, karışık modeller gibi kısıtlamalar altında uygulanması üzerine bir çalışma yapmıştır.

Stokastik arama yöntemlerinden benzetimli tavlama(simulated annealing) yönteminin denendiği çalışmada; yerel optimum değerlerinde takılı kalmayarak, global optimum değerine ulaşmayı hedefleyen bir yöntem sunulmuştur [24]. Birden fazla kişinin çalıştığı iş istasyonlarıyla ilgili bir diğer çalışmada, benzetimli tavlama yönteminin kullanıldığı yeni bir algoritma önerilmiştir [25].

Montaj hatlarında öncüllük kısıtlarını temsil eden öncüllük diyagramlarında; genetik algoritma kullanırken çaprazlama ve mutasyon yapmak bir sorun oluşturur. Çünkü standart yöntemlerle çaprazlama ve mutasyon yapıldığında öncüllük kısıtları ihlal edilir. Bunun için çoğunlukla penaltı puanı yöntemi uygulanır.

Hat dengelemede genetik algoritmaların kullanıldığı [26] çalışmada yeni bir kromozom yapısı denenmiş ve onun üzerinden evrim gerçekleştirilmiştir. Yine Ajenblit ve Wainwright tarafından yapılan bir çalışmada U-tipi hatlarda

genetik algoritmanın kullanımıyla ilgili yeni bir yöntem denenmiştir [27].

3. Metot

Bu çalışmanın ilk aşamasında klasik sezgisel yöntemlerden Helgeson-Birnie metodu [28], İlk uyumlu adayı direk ata (İUADA) [29], En büyük aday Kuralı(EBAK) [30] ve COMSOAL [31] algoritması Python ortamında kodlanmıştır. Bunları kodladıktan sonra COMSOAL algoritmasının ürettiği sonuçlar üzerinden genetik algoritmalar için bir başlangıç popülasyonu oluşturulmuştur. Bunun sebebi diğer algoritmalar aynı hat dizilimini verirken; COMSOAL algoritmasının, rastgelelikten dolayı farklı sonuçlar vermesidir. İlk jenerasyonda çeşitlilik sağlamak açısından COMSOAL algoritması tercih edilmiştir.

3.1. Sezgisel Algoritmaların Uygulanması

Helgeson-Birnie metodunda hattaki bütün görevler, pozisyon ağırlıklarına göre sıralanır. Sıralamaya göre öncüllük kısıtını ve istasyon zamanını ihmal etmeyecek şekilde en uygun görev istasyona atanır. Eğer istasyon zamanı aşıyorsa diğer görev denenir. Hiçbir görev atanamıyorsa yeni istasyon açılır ve en uygun görev yeni istasyona atanır.

En büyük aday kuralında, adayların ardıllarına bakılmaksızın en büyük görev zamanına sahip olanı istasyona atanır. Eğer en büyük aday atanamıyorsa diğer adaylara bakılır. Hiçbir görev atanamıyorsa yeni istasyon açılır ve görev oraya atanır.

İUADA yönteminde yedi farklı fonksiyon vardır. Adaylar bu fonksiyonlara göre sıralanır ve atama yapılır. Bu çalışmada ardıllarının sayısına göre sıralanan fonksiyon seçilmiştir. En çok ardılı olan görev en uygun aday olarak belirlenir ve atamalar diğer algoritmalarla aynı şekilde yapılır.

COMSOAL algoritması da bu görevlerin rastgele bir şekilde atandığı bir algoritmadır ve bilgisayarla birlikte kullanmak için uygundur. Belirli bir iterasyon sayısı kadar görevler kısıtları ihmal etmeyecek şekilde rastgele sırayla atanır ve bütün iterasyonlar bittikten sonra en yüksek uyum değeri(fitness value)'ne ulaşan sonuç başarılı kabul edilir.

Görev sıralamaları bulunduktan sonra görevler istasyonlara atanır. Sezgisel istasyon bazlı görev atama yönteminde görev hatta eklenirken

çevrim zamanının aşılp aşılmadığı kontrol edilir. Eğer çevrim zamanı aşıyorsa yeni istasyon açılır ve görev yeni istasyona eklenir. Bütün işlem bittikten sonra hat etkinliği(1) ve düzgünlük indeksi(2) değerleri hesaplanabilir.

$$\text{Hat etkinliği} = \frac{100 * TGS}{M * C} \quad (1)$$

TGS = Toplam görev süresi

M = İstasyon sayısı

C = Çevrim zamanı

$$DI = \sqrt{\sum_{j=1}^M (IZ_{\max} - IZ_j)^2} \quad (2)$$

DI = Düzgünlük İndeksi

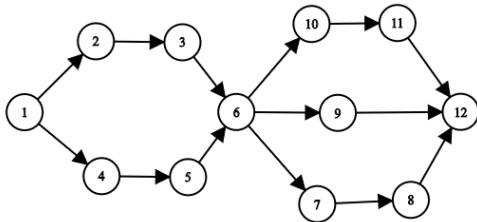
IZ = İstasyondaki görevlerin süreleri toplamı

3.2. Genetik Algoritmaların Uygulanması

Montaj hattı dengelemede kullanılan öncüllük diyagramları Yönlendirilmiş Döngüsüz Çizge (YDÇ) ile ifade edilebilir. YDÇ'ler bir düğümden gösterilen yönde gidilebilen ama daha önce uğranmış bir düğüme hiçbir şekilde geri dönülemeyen çizge(graph) yapılarıdır [32].

YDÇ'lerde klasik yöntemlerle çaprazlama ve mutasyon yapılırsa öncüllük kısıtları ihmal edilmiş olur. Bu yüzden bu ağaç tiplerinde mutasyon ve çaprazlama yapılması için öncüllük kısıtını ihmal etmeyecek bir yöntem geliştirilmiştir.

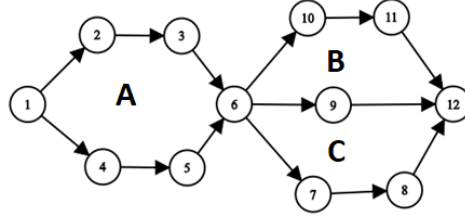
Şekil 1'de örnek bir YDÇ görülmektedir. Bunu aynı zamanda 12 görevli bir öncüllük diyagramı olarak düşünebiliriz.



Şekil 1. Yönlendirilmiş döngüsüz Grafik Örneği

Başlangıç aşamasında bu çizgedeki eklem noktaları(articulation points) bulunur. Eklem noktaları çizgenin dallandığı veya dallanan kısımların birleştiği noktalarlardır. Şekil 1'deki

çizge için eklem noktaları 1,6,12'dir. Sonrasında bu eklem noktaları arasında kalan bölgeler bulunur. Şekil 2'de görüldüğü üzere bu çizge, 3 farklı bölgeye ayrılabilir.



Şekil 2. Bölgelerin Gösterimi

Bu bölgeleri çevreleyen düğümler kaydedilir. Bu üç bölge dışında bir de (B+C) bölgesi vardır. Bu bölgeyi de alabilme sebebi, başlangıç ve bitiş eklem noktalarının aynı olmasıdır. Bulunan düğümler Tablo I üzerinden gösterilmektedir.

Tablo 1. Bölgelerin etrafında bulunan düğümler

Bölge	Düğümler
A	1,2,3,4,5,6
B	6,9,10,11,12
C	6,9,7,8,12
B+C	6,10,11,7,8,12

3.2.1. Çaprazlama

Çaprazlama yapmak için öncelikle rastgele bir şekilde bu dört bölgeden birisi seçilir. Ebeveynlerde bu seçilen bölgelerin sıralamasına bakılır. Sonrasında bu sıralama ve konum bozulmadan diğer ebeveyn ile çaprazlama yapılır. Şekil 3'te B bölgesinin seçildiği bir çaprazlama görülmektedir. B bölgesinin elemanları 6,9,10,11,12'dir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ebeveyn 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ebeveyn 2	1	4	2	3	5	6	7	10	11	9	8	12
Çocuk 1	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	9	12
Çocuk 2	1	4	2	3	5	6	7	9	10	11	8	12

Şekil 3. Çaprazlamanın gösterimi

Bu işlem yapılırken bir ebeveyninden gelen kromozomdaki elemanların konumlarının bozulmamasına dikkat edilmelidir. Yani ebeveyn 1 ile ebeveyn 2 arasında çaprazlama yapılıyorsa

ebeveyn 1 den seçilen genlerin sırası bozulmadan ebeveyn 2'deki seçilen genlerin yerlerine konulmalıdır. Şekil 3'te B bölgesi elemanları ebeveyn 1 için seçilen genler 6,9,10,11,12 şeklinde sıralanmış ve ebeveyn 2'nin genlerinin kromozomdaki konumları 6,8,9,10 ve 12'dir. Bu durumda ebeveyn 1'den gelen genler sıralamaları bozulmadan 6,8,9,10 ve 12 genlerinin olduğu konumlara konmalıdır. Bu yöntemle yapılan çaprazlamanın başarılı olduğu ve öncüllük kısıtlarının hiçbir şekilde ihmal edilmediği görülebilir. Bu yöntem kullanılarak farklı bölgelerde ve farklı kromozom dizilimlerinde çaprazlama rahatça yapılabilir.

3.2.2. Mutasyon

Mutasyon yapılırken yine benzer bir şekilde rastgele olarak bu dört bölgeden birisi seçilir. Bu bölgenin düğümlerinden eklem noktası olmamak koşulu ile rastgele bir düğüm seçilir. Bu düğüm, seçili genidir. Kromozom içerisinde bu seçili genin etrafı hem sağdan hem soldan seçilen bölgeden bir genle karşılaşılan kadar taranır. Seçilen düğüm, taranan düğümlerden herhangi birisinin yerine konulabilir. Seçilen düğüm yeni yerine konduktan sonra eski konumuyla arasındaki genler bir sağa veya bir sola kaydırılır. Eğer yeni konumu eski konumunun solundaysa aradaki genler bir sağa, eğer sağındaysa bir sola kaydırılır.

Bulunan Çocuk 1'in örnek bir mutasyonu Şekil 4'te gösterildiği gibidir. Bölge olarak B bölgesi seçilmiş ve eleman olarak 10 seçilmiştir. B bölgesinde olmayan 7,8 genleri tarandıktan sonra mutant çocukta 10 geni, 7 geninin soluna konmuş ve arada kalan 7,8 genleri bir sağa kaydırılmıştır. Anlatılan mutasyon Şekil 4'te görülebilir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cocuk 1	1	4	2	3	5	6	7	8	10	11	9	12
Mutant Çocuk	1	4	2	3	5	6	10	7	8	11	9	12

Şekil 4. Mutasyonun gösterimi

Bu örnekte de görüldüğü üzere kromozomlar üzerinde değişiklik yapılmış ama Şekil 1'deki öncüllük kısıtları hiçbir şekilde ihmal edilmemiştir. Bu mutasyon yöntemiyle YDC'lerde öncüllük kısıtları ihmal edilmeden mutasyon yapılabilir.

3.3. Görevlerin İstasyonlara Dağıtılması

Çaprazlama ve mutasyon yaparak farklı görev dizilimleri elde edildikten sonra sırada görevlerin istasyonların dağıtılması yapılır. Sezgisel yöntemlerde istasyon bazlı görev dağıtılmasında uygulanan yöntem, 1. İstasyondan başlanarak görevlerin sırayla atanmasıdır. Eğer mevcut istasyondaki çevrim zamanı aşıyorsa yeni istasyon açılır ve atanacak görev yeni açılan istasyona atanır. Ancak bu görev atanması her zaman en iyi sonucu vermeyebilir. Bazı görevler sıralama bozulmayacak şekilde yan istasyonlara kaydırılırsa daha iyi sonuçlar bulunabilir. Burada amaç en sondaki istasyona olabildiğince fazla iş bindirip daha dengeli bir hat elde etmektir. Çünkü sezgisel istasyon bazlı görev atama yöntemlerinde çoğunlukla sonda kalan istasyonun iş yükü en düşük olan istasyondur.

Bu sorunun çözümünde Gonçalves ve Almeida'nın bulduğu yerel arama prosedürünün[33] kullanımı uygun görülmüştür. Yerel arama prosedürü, hattın son istasyonundaki iş yükünü maksimize etmeyi hedefler. Bu sayede daha dengeli bir hat elde edilebilir.

Yerel arama prosedüründe uygulanan yöntem üç aşamalıdır:

1. Sırası verilen (genetik algoritmalarla bulunan) görevleri istasyonlara sezgisel yaklaşımla ata.
2. Sezgisel yaklaşımla istasyonlara atanan görevleri yerel arama prosedürüyle istasyonlara tekrardan dağıt.
3. Yeni hat etkinliği değerlerini hesaplayıp tekrardan genetik algoritmalarla görev sıralarını düzenle.

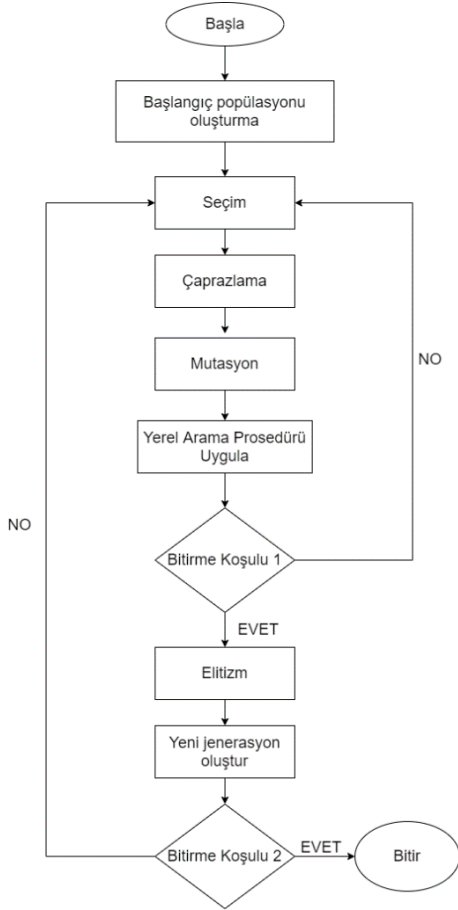
Kullanılan yerel arama prosedürünün kullanım amacı, sırası bulunan görevleri istasyonlara sırasıyla lineer bir şekilde atamak yerine, son istasyona daha fazla görev yükleyip daha yüksek bir hat etkinliği elde etmektir. Yerel arama prosedürü bazı istasyonlardaki son görevin, bir sonraki istasyondaki ilk göreve atanmasını sağlar. Bu sayede ilk istasyonlardaki yoğunluk sondaki istasyonlara kaydırılmış olur. İlk uygulanan genetik algoritmaların kullanım amacı görevleri sıralamakken; yerel arama prosedürüyle uygulanan genetik algoritmalar da amaç görevleri istasyonlara en uygun şekilde dağıtmaktır.

Yerel arama prosedürüyle popülasyon oluşturulur ve genetik algoritmalar uygulanır. Burada oluşturulan popülasyon büyüklüğü ve yapılacak jenerasyon sayısı, istasyon sayısına ve görev sayısına göre ayarlanır.

3.4. Önerilen Algoritmanın Akışı

Bu çalışmada iki aşamalı bir genetik algoritma uygulanmıştır. Birincisi genel görev dizilimini belirlemek için kullanılan genetik algoritmalar, diğeri oluşturulan yeni çocukların görevlerini istasyonlara dağıtmak için kullanılan yerel arama prosedüründeki genetik algoritmalarıdır.

Algoritmanın genel akış diyagramı Şekil 5'teki sunulmuştur.



Şekil 5. Algoritmanın akış diyagramı

Program ilk çalıştırıldığında COMSOAL algoritması kullanılarak bir başlangıç popülasyonu oluşturulur. Seçim aşamasında

turnuva seçimi uygulanır. Popülasyondan rastgele 3 tane kromozom seçilir. Bu üç kromozom arasından en yüksek hat etkinliği değerine sahip olan iki kromozom ebeveyn olarak seçilir. Bu seçim aşaması yeni popülasyonun oluşabilmesi için popülasyon sayısının yarısı kadar sürdürülür.

Çaprazlama aşamasında, rastgele bir sayı üretilir. Üretilen sayı çaprazlama ihtimalinden yüksekse çaprazlama yapılır. Aynı işlem mutasyon için de yapılır. Bu işlemlerden sonra yerel arama prosedürü uygulanır. Sonrasında bitirme koşulu 1'in sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Bitirme koşulu sayı olarak popülasyon büyüklüğünün yarısıdır. Eğer popülasyon büyüklüğünün yarısı defa seçim aşamasına geçilmişse elitizm aşamasına geçilir.

Elitizm aşaması en fazla uyum değerine sahip bireyin en düşük uyum değerine sahip bireyle değiştirildiği aşamadır. Bu aşama yeni jenerasyon oluşturulması süreçlerinde tekrarlanır.

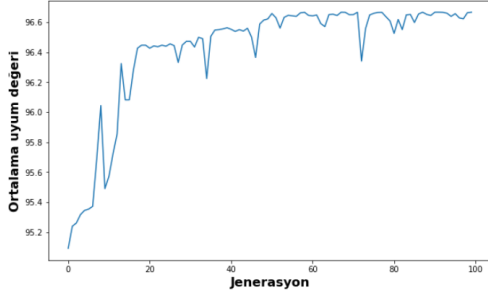
Bütün bunlar yapıldıktan sonra bir popülasyon oluşmuş olur. Bitirme koşulu 2 sağlanıyorsa işlem sonlandırılır. Bitirme koşulu 2, belirlenen jenerasyon sayısıdır. Eğer bu koşul sağlanmıyorsa yeni popülasyondaki en iyi bireyler grafik çizdirmek amacıyla kaydedilir. Bu aşama algoritmanın işlevi dışında görsel veri sunmak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Belirlenen jenerasyon sayısı defa seçim aşamasına geri dönlür.

4. Uygulama

Geliştirilen algoritmanın test edilmesi amacıyla Arçelik-LG bulaşık makinesi fabrikasının 41 görevli montaj hattındaki bilgiler[34] kullanılmıştır. Buradaki görev zamanları ve öncülleri olduğu gibi programa uygulanmıştır. Testler bu montaj hattı üzerinden yapılmıştır. Görev zamanı 23 saniye olarak girilmiş, çaprazlama olasılığı 0.05, mutasyon olasılığı 0.05, popülasyon büyüklüğü 100, jenerasyon sayısı 100 olarak belirlenmiştir. Fitness value(uyum değeri) olarak hat etkinliği seçilmiştir

Kullanıcı hattın öncüllük ve görev süreleri bilgisini [görev numarası, [görevin öncülleri], görev süresi] şeklinde girer. Her bir görev, dizinin ayrı bir elemanıdır. Görevin öncülleri birden fazla olabileceği için onu da dizi şeklinde girer. Öncülü olmayan görevlerde görevin

öncülü boş bırakılır veya '0' yazılır. Sonrasında çevrim zamanı değerini nümerik tipinde girer.

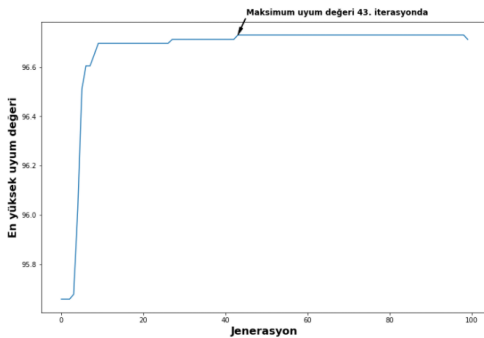


Şekil 6. Jenerasyonların ortalama uyum değerleri

Şekil 6'da ortalama uyum değeri-jenerasyon grafiğine bakıldığında ilk 20 jenerasyonda hızlı bir artış, daha sonrasında yavaş bir artış gözlemlenmiştir. Bu süreçte grafikte bazı noktalarda dalgalanmalar görülmektedir.

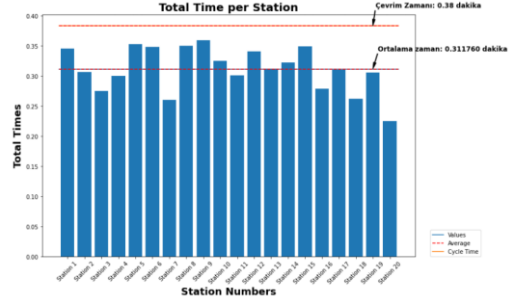
Sezgisel algoritmalar çoğunlukla aynı hat üzerinde yapılan deneylerde aynı sonuçları vermektedir. Bu durum çeşitliliği azaltmakta ve yüksek hat etkinliği istenen durumlarda olası istasyon dizilimi seçeneklerini düşürmektedir. Sezgisel algoritmalar ile yapılan deneylerin çalışılan deney grubunun çok iyi bir popülasyon olmadığı noktasında sorular oluşturmuştur. Bu nedenle çalışmamız da üst sezgisel bir algoritmada kullanılarak denemeler yapılmış ve çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçlar Tablo 2 ve Tablo 3 de sunulmuştur.

Şekil 7'de her jenerasyondaki en yüksek uyum değerine sahip kromozomlar görülüyor. Grafiğe bakıldığında ilk iterasyonda 95.79 olan en yüksek uyum değerinin 43. iterasyonda en yüksek değerine ulaştığı gözlemleniyor.



Şekil 7. En başarılı uyum değerleri

Şekil 8'de en yüksek uyum değerli hat için görevlerin istasyonlara dağılımının barchart grafiği verilmiştir. Toplam 20 istasyon bulunmaktadır. Çevrim zamanı 0.38 dakika ve ortalama istasyon zamanı 0.312 dakika olarak bulunuyor.



Şekil 8. İstasyon - İstasyon zaman grafiği

5. Tartışma ve Sonuç

Montaj hattının dengelenmesinde sezgisel algoritmalarından "En Büyük Aday Kuralı", "Sırala ve Ata yöntemi", "Helgeson - Birnie metodu" ve "COMSOAL" algoritmaları kullanılmıştır. Sonrasında Sonrasında Kucukkoc ve arkadaşları tarafından geliştirilen [35] LineBalancer isimli uygulamadaki genetik algoritmalar ve makalede önerilen genetik algoritmalar kullanılarak 100 farklı deney yapılmış ve sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır.

Tablo 2. Test Sonuçları

Algoritma	Hat Etkinliği	Ort. zaman(s)
En Büyük Aday Kuralı	%95.51	0.12 s
Helgeson - Birnie Metodu	%95.51	0.15 s
Sırala ve Ata Yöntemi	%95.18	0.14 s
COMSOAL (1000 iterasyon)	%95.19	0.67 s
LineBalanceR	%96.54	0.45 s
Genetik algoritmalar - Önerilen (100 Dene Ortalaması)	%96.55	4.27 s

Deneylerde kullanılan uygulamayla makalede önerilen algoritma için çevrim zamanı, istasyon kısıtlaması, popülasyon büyüklüğü, çaprazlama ihtimali gibi parametreler birbiriyle aynı

girilmiştir. Genetik algoritmaların kullanıldığı deneyler klasik yöntemlerin kullanıldığı deneylerden daha yüksek hat etkinliği değerleri vermiştir. Sonuçlar Tablo 2'den görülebilir. Genetik algoritmaların uygulandığı deneylerde hat etkinliği değerlerinde %1-2 arasında artışlar saptanmıştır.

Testin ikinci aşamasında algoritmalara ek olarak yeni popülasyon öncesi hat etkinliği değeri hesaplanmadan önce yerel arama prosedürü uygulanmıştır. Alternatif olarak kullanılan LineBalancer uygulamasında algoritma çalışırken müdahalede bulunulamayacağı için sadece son popülasyon üzerinde yerel arama prosedürü uygulanmıştır.

Tablo 3. Yerel arama sonrası sonuçlar

Algoritma	Hat Etkinliği	Ort. zaman(s)
En Büyük Aday Kuralı	%95.74	0.17 s
Helgeson - Birnie Metodu	%95.74	0.19 s
Sırala ve Ata yöntemi	%95.3	0.18 s
COMSOAL (1000 iterasyon ortalaması)	%95.23	0.98 s
LineBalanceR	%96.54	0.45 s
Genetik algoritmalar (100 Dene Ortalaması)	%96.60	5.45 s

Yerel arama prosedürünün uygulandığı deneylerde Tablo 3'ten de görüldüğü üzere hat etkinliği değerinde, bu prosedürün uygulanmadıklarındakine göre ortalama olarak yüzdelik dilimde 0.05-0.2 arası artışlar gözlemlenmiştir. Ancak genetik algoritmaların kullanıldığı bütün deneylerde zaman açısından gözle görülür artışlar görülmüştür. Genetik algoritmalarda kullanılan parametreler değiştirilirse sürelerde değişimler olabilir.

Bu çalışma içerisinde endüstri alanında genetik algoritmaları kullanarak bir optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Optimizasyonun yapılması aşamasında, sıklıkla kullanılan sezgisel yöntemler ile genetik algoritmalarda kullanılan yeni bir yöntem karşılaştırılmıştır. Kullanılan çaprazlama ve mutasyon yöntemlerinin başarılı olduğu gözlemlenmiş, yine genetik algoritmaların kullanıldığı yerel arama prosedürüyle küçük artışlar yakalanmış ve bulunan sonuçlar güçlendirilmiştir. Kullanılan

genetik algoritma yöntemlerinin diğer sezgisel yöntemlere kıyasla zaman açısından daha uzun sürdüğü saptanmıştır.

Teşekkürler

Bu çalışma, TÜBİTAK TEYDEB tarafından desteklenen 7190036 nolu "COPER - Kurumsal Süreç ve Kapasite Planlama Yönetimi" projesi kapsamında elde edilen bilgilerden yararlanılarak, Metadata Bilişim Teknoloji Sanayi ve Ticaret A.Ş. ve Barsesa Eğitim ve Danışmanlık A.Ş. firmalarının desteği ile üniversite - sanayi işbirliği çerçevesinde hazırlanmıştır.

Kaynakça

- [1] Mahto, D. G., and Anjani Kumar. "An empirical investigation of assembly line balancing techniques and optimized implementation approach for efficiency improvements." *Global Journal of Researches in Engineering Mechanical and Mechanics Engineering* 12 (2012).
- [2] "ProPlanner | Line Balancing." *ProPlanner*, y.y. t.y. Web. 4 Aralık 2020
- [3] Lazarev, A. A., E. R. Gafarov, and A. Dolgui. "Notes on Complexity of the Simple Assembly Line Balancing Problem." (2012)..
- [4] Amen, Matthias. "Heuristic methods for cost-oriented assembly line balancing: A survey." *International Journal of Production Economics* 68.1 (2000): 1-14.
- [5] Fang, Yilin, et al. "Multi-objective evolutionary simulated annealing optimisation for mixed-model multi-robotic disassembly line balancing with interval processing time." *International Journal of Production Research* 58.3 (2020): 846-862.
- [6] Kucukkoc, Ibrahim, and David Z. Zhang. "Mixed-model parallel two-sided assembly line balancing problem: A flexible agent-based ant colony optimization approach." *Computers & Industrial Engineering* 97 (2016): 58-72.
- [7] Chiang, Wen-Chyuan. "The application of a tabu search metaheuristic to the assembly line balancing problem." *Annals of Operations Research* 77 (1998): 209-227.
- [8] Tasan, Seren Oz Mehmet, and Semra Tunalı. "A review of the current applications of genetic algorithms in assembly line balancing." *Journal of intelligent manufacturing* 19.1 (2008): 49-69.
- [9] Bautista, Joaquín, Cristina Batalla-García, and Rocío Alfaro-Pozo. "Models for assembly line balancing by temporal, spatial and ergonomic risk attributes." *European Journal of Operational Research* 251.3 (2016): 814-829.
- [10] Anderson, Edward J., and Michael C. Ferris. "Genetic algorithms for combinatorial optimization: the assemble line balancing problem." *ORSA Journal on Computing* 6.2 (1994): 161-173.
- [11] Bautista, Joaquín, et al. "Local search heuristics for the assembly line balancing problem with incompatibilities between tasks." *Proceedings 2000*

- ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings (Cat. No. 00CH37065). Vol. 3. IEEE, 2000.
- [12] Eryürük, Selin Hanife. Bir konfeksiyon işletmesinde montaj hattı dengeleme. Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- [13] Kara, Yakup. U-tipi montaj hattı dengeleme problemleri için yeni modeller ve otomotiv yan sanayiinde bir uygulama. Diss. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2004..
- [14] Akin, Nalan Gülten. "Kanepe Montaj Hattının Dengelenmesi ve Benzetim Yöntemi İle Sınanması." Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 5.1 (2015): 95-120.
- [15] Yegül, Mustafa Fatih, Kursad Agpak, and Mustafa Yavuz. "A new algorithm for U-shaped two-sided assembly line balancing." Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering 34.2 (2010): 225-241.
- [16] Zülcha, Gert, and Michael Zülchb. "Ergonomic evaluation of a hybrid U-shaped assembly system." Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA. Vol. 9. 2015..
- [17] Akagi, Fumio, Hirokazu Osaki, and Susumu Kikuchi. "A method for assembly line balancing with more than one worker in each station." The International Journal of Production Research 21.5 (1983): 755-770..
- [18] Özcan, Uğur, and Bilal Toklu. "A tabu search algorithm for two-sided assembly line balancing." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 43.7-8 (2009): 822.
- [19] Chiang, Wen-Chyuan. "The application of a tabu search metaheuristic to the assembly line balancing problem." Annals of Operations Research 77 (1998): 209-227.
- [20] Lapierre SD, Ruiz A, Soriano P. "Balancing assembly lines with tabu search". European Journal of Operational Research, 168, 826-837, 2006.
- [21] Storn R, Price K. "Differential evolution-a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces". Journal of Global Optimization, 11, 341-359, 1997
- [22] Bautista J, Pereira J. "Ant algorithms for a time and space constrained assembly line balancing problem". European Journal of Operational Research, 177, 2016-2032, 2007.
- [23] McMullen, Patrick R., and Peter Tarasewich. "Using ant techniques to solve the assembly line balancing problem." *IIE transactions* 35.7 (2003): 605-617.
- [24] Suresh, G., and S. Sahu. "Stochastic assembly line balancing using simulated annealing." The International Journal of Production Research 32.8 (1994): 1801-1810.
- [25] Erel, E., I. Sabuncuoglu, and B. A. Aksu. "Balancing of U-type assembly systems using simulated annealing." International Journal of Production Research 39.13 (2001): 3003-3015.
- [26] Sabuncuoglu, Ihsan, Erdal Erel, and M. Tanyer. "Assembly line balancing using genetic algorithms." Journal of intelligent manufacturing 11.3 (2000): 295-310.
- [27] Ajenblit, Debora A., and Roger L. Wainwright. "Applying genetic algorithms to the U-shaped assembly line balancing problem." 1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings. IEEE World Congress on Computational Intelligence (Cat. No. 98TH8360). IEEE, 1998.
- [28] Helgeson, W. B., and Dunbar P. Birnie. "Assembly line balancing using the ranked positional weight technique." *Journal of industrial engineering* 12.6 (1961): 394-398.
- [29] Steven T. Hackman, Michael J. Magazine and T. S. Wee, "Fast, effective algorithms for simple assembly line balancing problems", Operations Research, 37(6), pp. 916-924, 1989.
- [30] Ponnambalam, S. G., P. Aravindan, and G. Mogileeswar Naidu. "A comparative evaluation of assembly line balancing heuristics." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 15.8 (1999): 577-586.
- [31] Arcus, Albert L. "A computer method of sequencing operations for assembly lines." *International Journal of Production Research* 4.4 (1965): 259-277.
- [32] udea Pearl, J. "The Logic of Representing Dependencies by Directed Graphs." (1937).
- [33] Gonçaves, José Fernando, and Jorge Raimundo De Almeida. "A hybrid genetic algorithm for assembly line balancing." *Journal of heuristics* 8.6 (2002): 629-642.
- [34] Özkan, Raşit. Tek Modelli Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Problemlerine Genetik Algoritma İle Çözüm Yaklaşımı. Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- [35] Li, Zixiang, Ibrahim Kucukkoc, and J. Mukund Nilakantan. "Comprehensive review and evaluation of heuristics and meta-heuristics for two-sided assembly line balancing problem." *Computers & Operations Research* 84 (2017): 146-161.