DÖKÜM KALIPLARININ DÖKÜM TEZGÂHLARINA ATANMASI PROBLEMİ İÇİN BİR GENETİK ALGORİTMA

Esin İZCİ[1], Nazife KARABULUT[2], Tuğba SARAÇ[3*]

[1] Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir, ORCID No : http://orcid.org/0000-0002-1594-0068

[2] Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir, ORCID No : http://orcid.org/0000-0002-7784-9737

[3] Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir, ORCID No : http://orcid.org/0000-0002-8115-3206

Anahtar Kelimeler

Genelleştirilmiş atama problemi (GAP), Genetik algoritmalar (GA), Tamsayılı programlama, Döküm kalıplarının atanması, Seramik sektörü, Çok amaçlı programlama

Öz

Klasik atama problemi, her işin n ajandan sadece birisine toplam maliyeti enküçükleyecek şekilde atanması problemidir. Bu problemde her ajana sadece bir iş atanabilmektedir. Genelleştirilmiş Atama Probleminde (GAP) ise bir ajana birden çok iş atanabilmektedir ve ajanların kapasitesi vardır. Bu çalışmanın motivasyon kaynağı bir seramik fabrikasının klasik döküm bölümünde yaşanan döküm kalıplarının döküm tezgâhlarına atanması problemidir. Bu problem GAP'ın bir versiyonudur. Ele alınan problemin çözümü için çok amaçlı bir matematiksel model önerilmiştir. Ayrıca büyük boyutlu problemlerin önerilen matematiksel model ile çözülememesi nedeniyle bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma ile çalışmanın gerçekleştirildiği işletmenin farklı boyutta üç problemi çözülmüş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

A GENETIC ALGORITHM FOR THE PROBLEM OF ASSIGNING CASTING MOLDS TO CASTING MACHINES

Keywords

Generalized assignment problem (GAP), Genetic algorithms (GA), Integer programming, Casting molds assignment, Ceramic sector, Multi-objective programming

Abstract

The classical assignment problem is that each job is assigned to only one of the n agents to minimize the total cost. In this problem, only one job can be assigned to each agent. However, if more than one job can be assigned to an agent and the agents have the capacity, this problem is called the Generalized Assignment Problem (GAP). The motivation of this study is assigning the casting molds to the casting benches in the classical casting department of a ceramic factory. This problem is a version of GAP. A multi-objective mathematical model is proposed for the solution of the considered problem. In addition, a genetic algorithm is developed since large-scale problems cannot be solved with the proposed mathematical model. The developed algorithm solves the three different size problems of the factory where the study is carried out, and obtained results are discussed.

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 15.04.2021	Submission Date	: 15.04.2021
Kabul Tarihi	: 25.11.2021	Accepted Date	: 25.11.2021

* Sorumlu yazar; e-posta : tsarac@ogu.edu.tr

1. Giriş

Kapasite kısıtları dâhilinde işlerin ajanlara atanmasını ele alan problem genelleştirilmiş atama problemidir. Klasik atama probleminde ajanların ve işlerin bire bir eşleşmesi gerekirken genelleştirilmiş atama probleminde bir ajana birden fazla iş atanabilmektedir.

GAP'ın yerleştirme problemleri, araç rotalama, grup teknolojisi, çizelgeleme gibi birçok uygulama alanı bulunmaktadır. (Tapkan, Özbakır ve Baykasoğlu, 2010). Literatürde darboğaz, çok aşamalı, elastik, dinamik, stokastik, çok kaynaklı ve çok amaçlı gibi farklı GAP türleri mevcuttur (Saraç ve Özçelik, 2017).

GAP, NP zor problemler sınıfına girdiği için, literatürde bu problem için kesin çözüm yöntemlerinin yanı sıra yaklaşık çözüm yöntemleri, tavlama benzetimi, yasaklı arama, genetik algoritma (GA), sinir ağları, arı kolonisi, açgözlü algoritmalar, parçacık sürü optimizasyonu, gibi sezgisel ve metasezgisel yöntemler de önerilmiştir.

GAP'ı konu alan çalışmalar incelendiğinde, Dörterler, Bay ve Akcayol (2017), adayların sınav salonlarının kapasitesi dikkate alınarak en yakınlarındaki sınav merkezine atanmaları problemini ele almışlardır. Problemin çözümü için bir GA önermişlerdir.

Bozdoğan, Yılmaz ve Efe (2010) çalışmalarında çok hedefli takip uygulamalarında karşılaşılan genelleştirilmiş atama problemine, sürü eniyileme algoritmalarının uygunluğunu incelemişlerdir ve 1-opt yerel aramayı kullanan parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının diğer modifikasyonlardan yakınsama hızı ve çözüm kalitesi açısından daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

İlkuçar ve Güngör (2018) çalışmalarında hem kurumların hekim ihtiyacını uzun vadede karşılayabilecekleri hem de atanacak hekimlerin olabildiğince istedikleri yerlere atamalarının yapılabileceği bir eniyileme problemini ele almışlardır ve ele aldıkları problemin çözümü için bir GA önermişlerdir.

Saraçoğlu ve Yücel (2019) çalışmalarında acil durumlarda en uygun güzergâhları belirleyecek şekilde çıkış kapılarının uygun konumlara atanması problemi üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında ana unsur olarak mesafe ve insan sayısını kullanmışlardır. Ele aldıkları problem için 0-1 karma tamsayılı bir matematiksel model önermişlerdir.

Tapkan ve diğ. (2010), genelleştirilmiş atama problemlerinde farklı komşuluk yapılarının arı algoritmasının performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Moussavi, Mahdjoub ve Grunder (2018), çalışmada üretim sisteminde iş gücü planlaması problemini ele almışlardır. Çalışmada, her iş istasyonunda ve sistemin tamamında işlem süresini en aza indirmek için işlere en uygun operatörün atanması amaçlanmaktadır. Ele alınan problem, klasik GAP'tan iki yönü ile farklılaşmaktadır. Birinci fark, operatörlerin çalışma günlerine getirilen kısıtlamadır. İkinci fark ise, dönemsel kısıtlara sahip olmasıdır. Problem için karma tamsayılı bir matematiksel model geliştirilmiştir.

Çetin, Tuzkaya ve Vayvay (2020) bankacılık sektöründe uygulamalı olarak bir dizi görevin farklı uzmanlığa sahip çalışanlara atanması problemini ele almışlardır. Atamalar çalışanların yetkinlikleri, uzmanlıkları ve ayrıca müşteri tipi, para miktarı, işlem türü gibi kriterler göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Problemin çözümü için iki aşamalı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. İlk aşamada sisteme gelen görevler belli kriterlere göre önceliklendirilmiştir. 2. aşamada görevler, yetenek ve deneyimlerine göre gruplandırılan çalışanlara atanmıştır.

Dörterler (2019), çalışmasında GAP için yeni bir GA önermiştir. Önerilen GA'da uygun çözümlerin ortaya çıkma olasılığını arttırmak için ajan tabanlı bir çaprazlama operatörü geliştirilmiştir.

Cergibozan ve Tasan (2020) çalışmalarında sipariş gruplama problemini ele almışlardır ve problemin çözümü için bir GA ve melez algoritma önermişlerdir. Geliştirilen çözüm yöntemleri bir dağıtım merkezinde uygulanmış ve sipariş gruplarının toplam rotaları %78 oranında azaltılmıştır. Ayrıca işgücü maliyetlerinde de azalma gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada GAP'ın bir versiyonu olan döküm kalıplarının döküm tezgâhlarına atanması problemi ele alınmıştır. Çalışmanın literatürdeki genelleştirilmiş atama problemlerinden en önemli farkı atanan kalıpların ömrü olmasıdır. Bir kalıbın ömrü dolduğunda tezgâhtan sökülmektedir. Ömrü tamamlanmamış kalıplar ise bir sonraki planlama periyoduna halihazırda atanmış oldukları tezgâhlara bağlı olarak aktarılmaktadır. Bu nedenle tezgâhların kullanılabilir kapasiteleri (tezgâhlara ilgili planlama döneminde bağlanabilecek kalıp sayısı) dinamik olarak değişmektedir.

Çalışmanın izleyen bölümünde ele alınan problem tanıtılmış ve önerilen matematiksel model sunulmuştur. Üçüncü bölümde geliştirilen genetik algoritma ayrıntıları ile açıklanmıştır. Dördüncü bölümde elde edilen deneysel sonuçlar, son bölümde ise sonuç ve öneriler tartışılmıştır.

2. Ele Alınan Problem ve Geliştirilen Matematiksel Model

Bu çalışmada siparişe dayalı üretim yapan bir firmadaki döküm kalıplarının döküm tezgâhlarına atanması problemi ele alınmıştır. Çalışmanın tüm aşamalarında araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Uygulamanın yapıldığı firmada basınçlı ve klasik olmak üzere iki tip döküm yapılmaktadır. Bu çalışmada klasik döküm bölümünde yaşanan kalıp atama problemi ele alınmıştır. Klasik döküm bölümünde, döküm kalıplarının bağlanacağı tezgâhlar yer almaktadır. Bir tezgâha birden çok kalıp bağlanabilmektedir. Bir tezgâhta kalıpların bağlanabileceği konumlar belirlidir ve *konum (sıra)* olarak adlandırılmaktadır. Tezgâhların kapasiteleri (toplam konum sayısı / toplam bağlanabilecek kalıp sayısı) birbirinden farklıdır. Aynı ürünün üretilebildiği kalıplar aynı *tür* olarak adlandırılmaktadır. Bir tür kalıptan birden fazla olması mümkündür. Döküm işleminin yapısı gereği kalıp ömürleri sınırlıdır. Bu ömür genellikle 90 kullanımdır. Kalıplar gerekli durumlarda ömrü dolmadan da tezgâhtan sökülebilmektedir. Tezgâhtan bir kez sökülen kalıbın bir daha kullanımı mümkün olamamaktadır. Bu nedenle, kalıpların en erken sökülebileceği kullanım sayısı 70 döküm olarak sınırlandırılmıştır. Bir başka deyişle tezgâha bağlanan bir kalıbın en az 70, en fazla 90 döküm yapıldıktan sonra sökülmesi gerekmektedir. Bir vardiyada bazı kalıplara 1 bazılarına ise 2 döküm yapılmaktadır. Her planlama döneminde hâlihazırda tezgâhlara bağlı kalıplar mevcuttur ve bu kalıpların konumları ve kalan ömürleri bilinmektedir. Tezgâhların boş konumlarına hangi yeni kalıpların bağlanacağı ve ömrü dolan hangi kalıpların tezgâhlardan sökülmesi gerektiği belirlenmektedir.

Döküm sürecinin doğası gereği göz önünde bulundurulması gereken bazı kısıtlar vardır. Örneğin; bir tezgâha olabildiğince aynı tür kalıplar atanması istendiğinden her bir tezgâh için toplam kalıp türü 4 ile sınırlandırılmıştır, kalıplar ancak uygun tezgâhlara atanabilmektedir. Bir başka deyişle, her kalıp her tezgâha atanamamaktadır. Atamalar tezgâh kapasitelerini geçmeyecek şekilde ve aynı tür kalıplar mümkün olduğunca yan yana olacak şekilde yapılmalıdır. Tezgâha bağlanan kalıplar mümkün olduğunca 90 dökümden önce sökülmemelidir. Ele alınan problem literatürde, sadece atama ve kapasite kısıtları dikkate alındığında, genelleştirilmiş atama problemi olarak ifade edilmektedir. Ancak diğer kısıtlar ((6)-(12), (14)-(33)) döküm sürecine özeldir ve bu çalışma kapsamında geliştirilmiştir.

Problemin çözümü için çok amaçlı bir matematiksel model önerilmiştir. Ele alınan amaçlar; toplam atama sayısının enbüyüklenmesi, aynı tür kalıpların atandığı tezgâh sayısının enküçüklenmesi, aynı tezgâha atanan aynı tür kalıpların atandıkları konumların farklarının enküçüklenmesi (bu amaç aynı tezgâha atanan aynı tür kalıpların yan yana olmasını sağlamak içindir) ve tezgâhlardan sökülecek kalıp sayısının enküçüklenmesidir. Amaçların birleştirilmesinde ağırlıklı toplam yöntemi kullanılmıştır.

İndisler:

i, q: kalıp türü indisi

j: tezgâh indisi

s, r: konum (sıra) indisi

Parametreler:

t_{js}: *j*. tezgâhın *s*. konumunda hâlihazırda bağlı olan kalıp türü

u_{ij}: *i*. kalıp türü *j*. tezgâha atamaya uygunsa 1, aksi halde 0

δ_{ij}: *i*. tür kalıptan *j*. tezgâha hâlihazırda bağlı kalıp sayısı $\delta_{ij} = \sum_{s|t_{js}=i} 1$

l_{sj}: *j*. tezgâhın *s*. konumundaki kalıbın kullanılan ömrü

c_j: *j*. tezgâhın kapasitesi (konum sayısı)

p_j: *j*. tezgâhın haftalık döküm sayısı

g_i: *i*. kalıp türü için haftalık talep (döküm sayısı)

a_i: Hâlihazırda bağlı *i*. tür kalıpların toplam haftalık döküm adetleri (α_i) haftalık talepten az ise eksik miktar

$$a_i = \begin{cases} 0, & g_i - \alpha_i \leq 0 \\ g_i - \alpha_i & g_i - \alpha_i \geq 0 \end{cases}$$

Burada $\alpha_i = \sum_j \sum_{s(l_{sj}<90 \; ve \; t_{js}=i)} t_{js}\, p_j \div i$ formülü ile hesaplanabilir.

e_i: Hâlihazırda bağlı *i*. tür kalıpların toplam haftalık döküm adetleri haftalık talepten fazla ise fazla miktar

$$e_i = \begin{cases} 0, & \alpha_i - g_i \leq 0 \\ \alpha_i - g_i & \alpha_i - g_i \geq 0 \end{cases}$$

k_1, k_2, k_3, k_4: birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü amaç fonksiyonlarının ağırlıkları ($k_1, k_2, k_3, k_4 \in \{0,\ 0.2,\ 0.4,\ 0.6,\ 0.8,\ 1\}$ ve $k_1 + k_2 + k_3 + k_4 = 1$ olacak şekilde 56 farklı ağırlık kombinasyonu oluşturulmuştur.)

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$: birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü amaç fonksiyonlarının aynı ölçeğe getirilmesinde kullanılacak katsayılar ($\theta_1 = \sum_j c_j - \sum_i \sum_j \delta_{ij},\ \theta_2 = \sum_i \sum_j u_{ij},\ \theta_3 = \sum_i \sum_j u_{ij}(\frac{c_j}{2} - \frac{g_i}{9}),\ \theta_4 = \sum_i \sum_j \delta_{ij}$)

Karar Değişkenleri:

v_{js}: *j*. tezgâhın *s*. konumundaki kalıbın kullanılan ömrü

π_i: *i*. kalıp türü için haftalık talepten sapma miktarı

h_{ij}: *j*. tezgâhtaki *i*. tür kalıbın atandığı ilk ve son konumlar arasındaki fark

φ_{ij}: *j*. tezgâhtaki toplam *i*. tür kalıp sayısı ile h_{ij} arasındaki fark

x_{ijs}: *i*. kalıp türünün *j*. tezgâhın *s*. konumuna atanması durumunda 1, aksi halde 0.

μ_{ijs}: *i*. kalıp türü *j*. tezgâhın *s*. konumunda bağlı ise1, aksi halde 0. (halihazırda bağlı veya yeni atanmış tüm durumlar dahil)

w_{ijs}: *i*. kalıp türü *j*. tezgâhın *s*. konumundan sökülecek ise 1, aksi halde 0

y_{ij}: *i*. kalıp türü *j*. tezgâha atandıysa 1, aksi halde 0

Amaç fonksiyonları:

$$f_1 = enb \sum_i \sum_j \sum_{s|s\le c_j} x_{ijs} \quad (1)$$

$$f_2 = enk \sum_i \sum_j y_{ij} \quad (2)$$

$$f_3 = enk \sum_i \sum_j \varphi_{ij} \quad (3)$$

$$f_4 = enk \sum_i \sum_j \sum_{s|s\le c_j} w_{ijs} \quad (4)$$

Birleştirilmiş amaç fonksiyonu:

$$enk\ z = -k_1 \frac{f_1}{\theta_1} + k_2 \frac{f_2}{\theta_2} + k_3 \frac{f_3}{\theta_3} + k_4 \frac{f_4}{\theta_4} \quad (5)$$

Kısıtlar:

$$v_{js} \le (l_{sj} + p_j)(1 - \sum_i w_{ijs}) + M \sum_i x_{ijs} \quad \forall j, s|\ l_{sj} > 0\ ve\ s \le c_j \quad (6)$$

$$v_{js} \ge (l_{sj} + p_j)(1 - \sum_i w_{ijs}) - M \sum_i x_{ijs} \quad \forall j, s|\ l_{sj} > 0\ ve\ s \le c_j \quad (7)$$

$$v_{js} \le l_{sj} + M \sum_i x_{ijs} \quad \forall j, s|\ l_{sj} = 0\ ve\ s \le c_j \quad (8)$$

$$v_{js} \ge l_{sj} - M \sum_i x_{ijs} \quad \forall j, s|\ l_{sj} = 0\ ve\ s \le c_j \quad (9)$$

$$v_{js} \le x_{ijs}\, p_j + M(1 - \sum_i x_{ijs}) \quad \forall i, j, s|\ s \le c_j \quad (10)$$

$$v_{js} \ge x_{ijs}\, p_j - M(1 - \sum_i x_{ijs}) \quad \forall i, j, s|\ s \le c_j \quad (11)$$

$$\sum_i y_{ij} \le 4 \quad \forall j \quad (12)$$

$$\sum_i \sum_{s|s\le c_j} \mu_{ijs} \le c_j \quad \forall j \quad (13)$$

$$\pi_i \le u_{ij}\, p_j \quad \forall i, j|\ u_{ij} \ne 0 \quad (14)$$

$$\sum_j \sum_{s|s\le c_j} x_{ijs}\, p_j \le a_i + \pi_i - 1 \quad \forall i \quad (15)$$

$$\sum_j \sum_{s|s\le c_j\ ve\ l_{sj}<90} w_{ijs}\, p_j \le e_i \quad \forall i \quad (16)$$

$$w_{ijs} \le 1 \quad \forall i, j, s|\ s \le c_j\ ve\ i = t_{js}\ ve\ l_{sj} > 70 \quad (17)$$

$$w_{ijs} = 0 \quad \forall i, j, s|\ s \le c_j\ ve\ i \ne t_{js}\ ve\ l_{sj} > 70 \quad (18)$$

$$w_{ijs} = 0 \quad \forall i, j, s|\ s \le c_j\ ve\ l_{sj} \le 70 \quad (19)$$

$$w_{ijs} = 1 \quad \forall i, j, s|\ s \le c_j\ ve\ i = t_{js}\ ve\ l_{sj} \ge 90 \quad (20)$$

$$x_{ijs} \le u_{ij} \quad \forall i, j, s \quad (21)$$

$$\sum_i x_{ijs} \le \sum_i w_{ijs} \quad \forall j, s|s \le c_j\ ve\ 0 \ne t_{js} \quad (22)$$

$$\sum_i x_{ijs} + \sum_i w_{ijs} \le 1 \quad \forall i, j, s|\ s \le c_j, i = t_{js}\ ve\ l_{sj} < 90 \quad (23)$$

$$\sum_i x_{ijs} + \sum_i w_{ijs} \ge 1 \quad \forall i, j, s|\ s \le c_j\ ve\ i = t_{js}\ ve\ l_{sj} \ge 90 \quad (24)$$

$$\sum_i \mu_{ijs} = 1 \quad \forall i, j, s|\ s \le c_j\ ve\ i = t_{js}\ ve\ l_{sj} < 70 \quad (25)$$

$$\sum_i \mu_{ijs} = x_{ijs} \quad \forall i, j, s|\ s \le c_j\ ve\ l_{sj} = 0\ ve\ l_{sj} \ge 90 \quad (26)$$

$$\sum_i \mu_{ijs} = 1 - w_{ijs} \quad \forall i, j, s, q|\ i \ne q,\ t_{js} = i,\ l_{sj} > 70,\ s \le c_j ve\ l_{sj} < 90 \quad (27)$$

$$\sum_q \mu_{qjs} = x_{qjs} \quad \forall i, j, s, q|\ i \ne q\ ve\ t_{js} = i\ ve\ l_{sj} > 70\ ve\ s \le c_j\ ve\ l_{sj} < 90 \quad (28)$$

$$\sum_i \mu_{ijs} \le 1 \quad \forall j, s|\ s \le c_j \quad (29)$$

$$y_{ij} \le \sum_{s|s\le c_j} \mu_{ijs} \quad \forall i, j \quad (30)$$

$$y_{ij}\, M \ge \sum_{s|s\le c_j} \mu_{ijs} \quad \forall i, j \quad (31)$$

$$h_{ij} \ge s\, \mu_{ijs} - r\, \mu_{ijs} - c_j\, (2 - \mu_{ijs} - \mu_{ijs}) \quad \forall i, j, s, r|\ s \le c_j ve\ s \ge r \quad (32)$$

$$\varphi_{ij} = h_{ij} - (\sum_{s|s\le c_j} \mu_{ijs} - y_{ij}) \quad \forall i, j \quad (33)$$

İlk amaç (1), toplam atama sayısının enbüyüklenmesidir. İkinci amaç (2), aynı tür kalıpların atandığı tezgâh sayısının enküçüklenmesidir. Üçüncü amaç (*3*), aynı tezgâha atanan aynı kalıp türlerinin atandıkları konumların farkının enküçüklenmesidir. Son amaç (*4*) ise tezgâhlardan sökülecek kalıp sayısının enküçüklenmesidir. Birleştirilmiş amaç fonksiyonu (5); f_1, f_2, f_3, f_4 amaçlarının klasik ağırlıklı toplam yöntemi ile birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Burada *k*$_1$, *k*$_2$, *k*$_3$, *k*$_4$ amaçların ağırlıkları ve $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$, amaç fonksiyonlarının aynı ölçeğe getirilmesinde kullanılan katsayılardır. (6)-(11), tezgâhların konumlarında bağlı kalıpların kullanılan ömrünü hesaplayan kısıtlardır. (6) ve (7), tezgâhlara halihazırda bağlı kalıplarının ömrünü hesaplayan kısıtlardır. Kalıp sökülmeyecekse, kalıbın mevcut kullanılan ömrüne o tezgâhta bir haftada yapılacak döküm sayısı eklenerek kalıbın ömrü hesaplanır. Mevcut kalıp sökülecek ise ömür bilgisi sıfırlanacaktır. (8) ve (9), her tezgâhın her konumu için eğer henüz atama yapılmamışsa tezgâhın o konumuna ait ömür bilgisinin değişmemesini sağlayan kısıtlardır. (10) ve (11), bir tezgâhın bir konumuna kalıp atanması durumunda kalıbın kullanılan ömrünün atandığı tezgâhın haftalık döküm sayısı kadar olmasını sağlamaktadır. (12), bir tezgâhta en fazla 4 çeşit kalıp bulunabilmesine izin verir. (13), *j*. tezgâhın kapasite kısıtıdır. (14)-(15), her kalıp türü için haftalık talepten sapma miktarını belirleyen kısıtlardır. (16)-(24), hangi kalıpların söküleceğini belirleyen kısıtlardır. (25)-(29) tezgâhların konumlarında hangi kalıpların bağlı olduğunu belirleyen kısıtlardır. (30)-(31), μ_{ijs} ve y_{ij} karar değişkenlerinin ilişki kısıtlarıdır. (32)-(33), aynı tezgâhta bulunan aynı kalıp türleri arasındaki konum farklarını hesaplayan kısıtlardır.

Önerilen matematiksel modeli daha iyi açıklayabilmek için 2 tezgâh ve 3 kalıp türünün olduğu bir örnek problem oluşturulmuştur. 1. kalıp türü için 6, 2. kalıp türü için 3 ve 3. Kalıp türü için ise 7 kalıba gereksinim vardır. Her iki tezgâhın da kapasitesi 10 konumdur. 1. Tezgâha 1. ve 2. tür kalıplar; 2. tezgâha da 2. ve 3. tür kalıplar atanabilmektedir. Örnek problem önerilen matematiksel model ve GAMS/CPLEX ile çözülmüş ve elde edilen çözüm Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'de yeşil hücreler daha önceden atanmış kalıpların türlerini ve her birinin alt satırındaki hücreler ise bu kalıpların kullanılan ömürlerini göstermektedir. Şekil 1'den de görülebileceği gibi halihazırda 1. tezgâhta 4, 2. tezgâhta ise 5 adet kalıp bağlıdır. 1. tezgâha 1. kalıp türünden 4 adet; 2. tezgâha 3. kalıp türünden 5 tane yeni kalıp atanmıştır. 1. tür kalıptan gereken adet 6 idi. Şekil 1'den de görülebileceği gibi 1. tezgâhta hâlihazırda 1. tür kalıptan 4 adet bağlıdır. Ancak iki tanesinin ömrü dolmuştur. Ömrü dolan bu iki kalıp söküldüğünden ihtiyacı karşılamak için 1. tür kalıptan 4 adet yeni atama yapılmıştır.

Atama Öncesi Tezgah 1	1	1	1	1						
Kalıp Ömrü	65	65	90	90						
Atama Sonrası Tezgah 1	1	1	1	1	1	1				
Atama Öncesi Tezgah 2						3	3	2	2	2
Kalıp Ömrü						40	40	50	50	50
Atama Sonrası Tezgah 2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2

Yeni atananlar

Eski atananlar

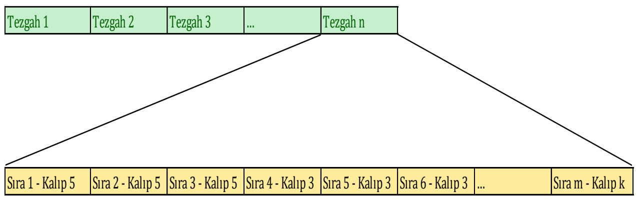
Şekil 1. Örnek Problemin Atama Öncesi ve Sonrası Gösterimi

3. Geliştirilen Genetik Algoritma

Önerilen matematiksel model ile çözülemeyen 75 tezgâh – 150 kalıp ve daha büyük boyutlu problemlere çözüm bulunabilmesi ve daha küçük boyutlu problemlerin de matematiksel modelden daha kısa süre içinde çözülebilmesi için bir GA geliştirilmiştir. Geliştirilen GA'da kullanılan çözüm gösterimi, başlangıç popülasyonun oluşturulması, uyum fonksiyonu hesabı, seçim, çaprazlama ve mutasyon operatörleri izleyen alt başlıklarda açıklanmıştır.

Çözüm Gösterimi:

Kullanılan çözüm gösteriminde her tezgâh bir gene karşı gelmektedir. Her gen, tezgâh konumları (sıraları) ve bu konumlara atanan kalıp bilgilerini içermektedir. Şekil 2' de önerilen çözüm gösterimine bir örnek sunulmuştur. Şekil 2'den de görülebileceği gibi kromozom, tezgâh sayısı (n) kadar genden oluşmaktadır. Bir genin içinde ise ilgili tezgâhta kalıpların bağlanabileceği konumlar (sıralar) ve bu konumlara hangi kalıpların atandığı bilgisi yer almaktadır.



Şekil 2. Önerilen Çözüm Gösterimi

Başlangıç Popülasyonunun Türetilmesi:

Çalışmada başlangıç popülasyonu rassal oluşturulmuştur. Geliştirilen GA'da tezgâhlar genleri ifade etmektedir ve her bir gen, ilgili tezgâhın konumlarına hangi kalıp türlerinin atandığı bilgisini içermektedir. İlk popülasyon oluşturulurken bütün kalıp türlerinin yer aldığı bir kalıp türü listesinden rastgele bir kalıp türü seçilir. Bu kalıp türünden atanması gereken kalıp adedine bakılır eğer sıfırsa bu kalıp türü listeden silinir, eğer sıfır değilse uyumlu tezgâhlar listesinden rassal bir tezgâh seçilir. Seçilen tezgâhın kapasitesi yeterli ise atama yapılır. Ve bu kalıp türü listeden silinir. Yeterli değilse, uygun bir tezgâh bulunana kadar tezgâh seçim işlemi devam eder. Kalıp türü listesinde atanmamış bir kalıp türü kalmayana kadar işlemler devam ettirilir.

Uyum fonksiyonu:

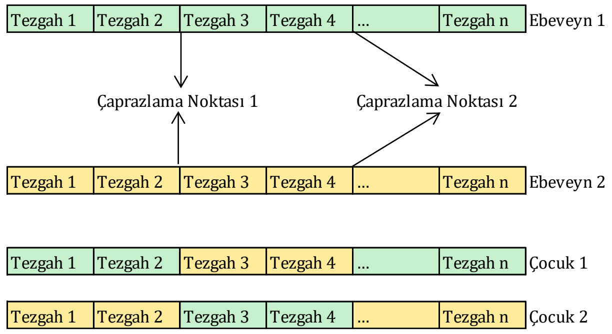
Her kromozom için uyum değeri, birleştirilmiş amaç fonksiyonu (5) kullanılarak hesaplanmaktadır.

Seçim Operatörü:

Bu çalışmada seçim operatörü olarak, ikili turnuva seçim yöntemi kullanılmıştır. İkili turnuva seçim yönteminde popülasyondan rassal olarak iki kromozom seçilmektedir ve uyum değeri daha büyük olan kromozom bir sonraki nesle aktarılmaktadır.

Çaprazlama Operatörü:

Bu çalışmada çift noktalı çaprazlama operatörü kullanılmıştır. Çaprazlama uygulanacak bireyler çaprazlama oranı kullanılarak rassal belirlenmektedir. Çaprazlama oranı 0,8 olarak alınmıştır. Şekil 3'te bu çalışmada kullanılan çaprazlama operatörünün nasıl çalıştığı bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

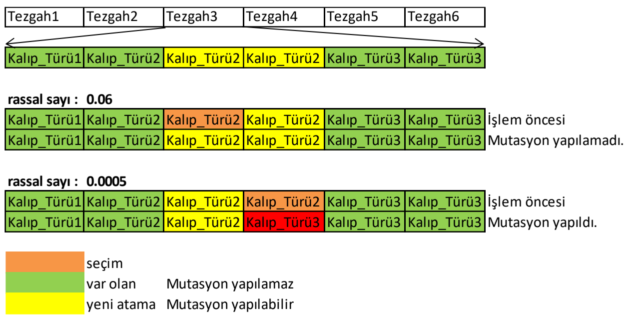


Şekil 3. Çift Noktalı Çaprazlama Örnek Gösterimi

Şekil 3'ten de görülebileceği gibi rassal olarak seçilmiş ebeveyn bireyler üzerinde rastgele iki nokta seçilir ve bu noktalar arasında kalan genler karşılıklı olarak yer değiştirilir.

Mutasyon Operatörü:

Bu çalışmada değer değiştirme mutasyon operatörü kullanılmıştır. Şekil 4'te çalışmada kullanılan mutasyon operatörü bir örnek üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4. Mutasyon Örnek Gösterimi

Mutasyon oranı (0,01) kullanılarak rassal seçilen tezgâh konumu için o tezgâha atanabilecek uygun kalıp türleri listesinden rassal olarak bir tür seçilir ve atanmış kalıp türü ile değiştirilir. Bu işlem yalnızca yeni atanmış kalıplar üzerinde yapılır halihazırda bağlı olan kalıplara mutasyon uygulanmaz. Bu sayede önceden atanmış kalıpların ömrü sonlanmadan sökülmesi önlenmektedir.

Elitizm:

Oluşturulan her popülasyonun en kötü uyum değerine sahip kromozomu yerine bir önceki neslin en iyi uyum değerine sahip kromozomu aktarılarak, elde edilen başarılı kromozomların yok olması önlenmiştir.

Popülasyon büyüklüğü 100 ve nesil sayısı 200 olarak seçilmiştir.

4. Deneysel Sonuçlar

Önerilen çözüm yaklaşımlarının performanslarını gösterebilmek amacıyla farklı büyüklüklerde üç test problemi kullanılmıştır. İlk problem 2 tezgâh - 5 kalıp türü, ikinci problem 10 tezgâh - 17 kalıp türü ve üçüncü problem de 30 tezgâh - 50 kalıp türü içermektedir. Test problemleri, matematiksel model ile GAMS 24.0.2'in CPLEX 12.5.0.0 çözücüsü kullanılarak çözdürülmüştür. Geliştirilen genetik algoritma, Python programı kullanılarak kodlanmıştır. Tüm testler Intel (R) Core (TM) i7- 3630QM CPU@2.40 GHz işlemcisi, 8 GB belleği ve Windows 10 işletim sistemine sahip bir bilgisayarda yapılmıştır.

2 tezgâh-5 kalıp türü içeren ilk test probleminin üç aylık talep tahmin verileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1

Her Kalıp Türü için 3 Aylık Talep Tahmin Verileri

Kalıp	*Ay 1*	*Ay 2*	*Ay 3*
1	531	363	330
2	1065	930	885
3	570	510	360
4	930	1050	900
5	330	270	264

Bu bilgiler kullanılarak her kalıp için haftalık döküm miktarları hesaplanmıştır. Tablo 2'de kalıpların tezgâhlara uygunluk durumları verilmiştir. Kalıplar tezgâhlara uygunsa 1 değilse 0 olarak belirtilmiştir. Tablo 3'te ise tezgâhların özellikleri sunulmuştur.

Tablo 4 ve Tablo 5'te sırasıyla tezgâhlarda bulunan kalıpların türleri ve kullanılan ömürleri verilmiştir.

Tablo 2

Kalıp - Tezgâh Uygunlukları

Kalıp	*T1*	*T2*
1	1	0
2	1	1
3	0	1
4	0	1
5	1	0

Tablo 3

Tezgâh Özellikleri

Tezgâh	*Kapasite*	*Haftalık Üretim Miktarı*
T1	32	12
T2	50	6

Tablo 4

Tezgâhlarda Halihazırda Bağlı Kalıpların Türleri

konum	*T1*	*T2*	*konum*	*T1*	*T2*
1	1	3	*26*	5	0
2	1	3	*27*	5	0
3	1	3	*28*	5	0
4	1	3	*29*	5	0
5	1	3	*30*	5	0
6	1	3	*31*	0	2
7	1	3	*32*	0	2
8	1	3	*33*	-	2
9	1	3	*34*	-	2
10	1	3	*35*	-	2
11	1	3	*36*	-	2
12	1	3	*37*	-	2
13	1	0	*38*	-	2
14	1	0	*39*	-	2
15	1	0	*40*	-	2
16	0	0	*41*	-	2
17	0	0	*42*	-	2
18	0	0	*43*	-	2
19	0	0	*44*	-	2
20	0	0	*45*	-	2
21	0	0	*46*	-	2
22	0	0	*47*	-	2
23	5	0	*48*	-	2
24	5	0	*49*	-	2
25	5	0	*50*	-	2

Tablo 5

Tezgâhlarda Halihazırda Bağlı Kalıpların Kullanılan Ömürleri

konum	*T1*	*T2*	*konum*	*T1*	*T2*
1	60	30	*26*	72	0
2	60	30	*27*	72	0
3	60	30	*28*	72	0
4	60	30	*29*	72	0
5	60	30	*30*	72	0
6	60	30	*31*	0	30
7	60	30	*32*	0	30
8	60	30	*33*	-	30
9	60	30	*34*	-	30
10	60	30	*35*	-	30
11	60	72	*36*	-	30
12	60	72	*37*	-	30
13	60	0	*38*	-	30
14	60	0	*39*	-	30
15	60	0	*40*	-	30
16	0	0	*41*	-	30
17	0	0	*42*	-	30
18	0	0	*43*	-	30
19	0	0	*44*	-	30
20	0	0	*45*	-	30
21	0	0	*46*	-	30
22	0	0	*47*	-	30
23	90	0	*48*	-	30
24	90	0	*49*	-	30
25	90	0	*50*	-	30

2 tezgâh-5 kalıp türü problemi 56 farklı ağırlık seti kullanılarak hem GAMS/CPLEX hem de GA ile çözülmüştür. GAMS/CPLEX'in çözüm süresi 56 ağırlık seti için toplam 14 dk. iken GA'nın çözüm süresi 26 dk.'dır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde GA ile 5 farklı çözüm elde edilmiştir. Bu çözümlerden birisi diğerlerine baskındır. GAMS ile 9 farklı çözüm elde edilmiştir ve bu çözümlerden 3'ü diğer çözümlere baskındır. Tablo 6 ve Tablo 7'de sırasıyla GAMS ve GA ile elde edilen baskın noktalar verilmiştir.

Tablo 6

Örnek Problem için GAMS ile Elde Edilen Baskın Noktalar

f_1	f_2	f_3	f_4
0	29	5	5
0	27	3	5
0	0	3	4

Tablo 7

Örnek Problem için GA ile Elde Edilen Baskın Nokta

f_1	f_2	f_3	f_4
0	29	5	5

2 tezgâh – 5 kalıp türü problemi için her iki yöntemle de elde edilmiş olan (0, 29, 5, 5) baskın noktasına karşı gelen çözüm Tablo 8'de verilmiştir.

10 tezgâh- 17 kalıp türü problemi için GA ile 39 farklı nokta elde edilmiştir. Bu noktalardan 17 tanesi baskın noktadır. GAMS/CPLEX ile elde edilen 27 farklı nokta arasında ise sadece 9'u baskındır. Çözüm süreleri açısından bakıldığında, GAMS/CPLEX'in 56 ağırlık seti için toplam çözüm süresi 46 dk. iken GA 32 dk.'da çözüm elde etmiştir.

30 tezgâh- 50 kalıp türü problemi için GA ile elde edilen 39 noktadan 23 tanesi baskındır. Öte yandan GAMS/CPLEX ile 34 farklı nokta bulunmuştur. Baskın nokta sayısı ise 17'dir. GAMS/CPLEX'in 56 ağırlık seti için toplam çözüm süresi 64 dk. iken GA 35 dk.'da çözüm elde etmiştir.

Sonuçlardan da görülebileceği gibi problem boyutları büyüdükçe genetik algoritma ile elde edilen baskın çözüm sayısı matematiksel model ile elde edilenlerin önüne geçmektedir ayrıca GA çözüm süresi yönüyle de avantaj sağlamaktadır.

Tablo 8

Örnek Problemin Çözümü

konum	*T1*	*T2*	*konum*	*T1*	*T2*
1	1	3	26	5	4
2	1	3	27	5	4
3	1	3	28	5	4
4	1	3	29	5	4
5	1	3	30	5	4
6	1	3	31	0	2
7	1	3	32	0	2
8	1	3	33	-	2
9	1	3	34	-	2
10	1	3	35	-	2
11	1	4	36	-	2
12	1	4	37	-	2
13	1	4	38	-	2
14	1	4	39	-	2
15	1	4	40	-	2
16	1	4	41	-	2
17	1	4	42	-	2
18	0	4	43	-	2
19	5	4	44	-	2
20	5	4	45	-	2
21	5	4	46	-	2
22	5	4	47	-	2
23	5	4	48	-	2
24	5	4	49	-	2
25	5	4	50	-	2

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, döküm yapan bir firmanın döküm tezgâhlarına döküm kalıplarının atanması problemi ele alınmıştır. Ele alınan problem, kalıp ömürlerinin dikkate alınmış olması nedeniyle literatürde yer alan GAP konulu çalışmalardan oldukça farklılaşmaktadır. Aynı kalıpların mümkün olduğunca yan yana atanması, kalıpların mümkün olduğunca ömürlerinin sonuna kadar kullanılması gibi gereklilikler problemi zorlaştırmaktadır. Çalışmada döküm tezgâhlarına kalıpların atanması probleminin çözümüne yönelik önerilen çok amaçlı matematiksel model ve genetik algoritma literatürde bir ilk olma özelliği taşıması açısından önemlidir. Problem boyutları büyüdükçe matematiksel model ile elde edilen baskın çözümlerin sayısı genetik algoritma ile elde edilenlerin gerisinde kalmıştır. Gelecekte, ele alınan problem farklı metasezgisel algoritmalarla ve çok amaçlı çözüm yaklaşımları ile çözülerek elde edilen çözümler karşılaştırılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Esin İZCİ ve Nazife KARABULUT, literatür taraması, matematiksel modelin ve genetik algoritmanın geliştirilmesi, problemin çözülmesi ve makalenin yazılması; Tuğba SARAÇ, ise matematiksel modelin ve genetik algoritmanın geliştirilmesi ve makalenin yazılması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynakça

Bozdoğan, A. Ö., Yılmaz, A. E., & Efe, M. (2010). Performance analysis of swarm optimization approaches for the generalized assignment problem in multi-target tracking applications. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 18(6), 1059-1076. doi: 10.3906/elk-0901-6

Cergibozan, Ç. & Tasan, A. S. (2020). Genetic algorithm based approaches to solve the order batching problem and a case study in a distribution center. *Journal of Intelligent Manufacturing,* doi: 10.1007/s10845-020-01653-3

Çetin, K., Tuzkaya, G., & Vayvay, O. (2020). A mathematical model for personnel task assignment and an application for banking sector. *An International Journal Of Optimization and Control: Theories & Applications*, 10(2), 147-158. doi: 10.11121/ijocta.01.2020.00825

Dörterler, M., Bay, Ö. F. & Akcayol, M. A. (2017). A modified genetic algorithm for a special case of the generalized assignment problem. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 25, 794-805. doi: 10.3906/elk-1504-250

Dörterler, M. (2019). A new genetic algorithm with agent-based crossover for the generalized assignment problem. *Journal of Information Technology and Control*, 48(3), 389-400. doi: 10.5755/j01.itc.48.3.21893

İlkuçar, M. ve Güngör, İ. (2018). Hekim atama probleminin genetik algoritma ile optimizasyonu. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(24), 236-261. doi: 10.20875/makusobed.374774

Moussavi, S. E., Mahdjoub, & M., Grunder, O. (2018). A hybrid heuristic algorithm for the sequencing generalized assignment problem in an assembly line. *IFAC-PapersOnLine*, 51(2), 695-700. doi: 10.1016/j.ifacol.2018.03.118

Saraç, T. ve Özçelik, F. (2017). Farklı yeteneklere ve önceliklere sahip ajanların ve aynı ajana atanması gereken işlerin olduğu çok kaynaklı genelleştirilmiş atama problemi için bir hedef programlama modeli. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(1), 75-90. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/290260

Saraçoğlu, İ. & Yücel, G. (2019). Generalized assignment problem to minimize emergency evacuation routing in Istanbul Grand Bazaar. *International Journal of Engineering Technologies-IJET*, 5(3), 105-116. Erişim adresi: http://acikerisim.gelisim.edu.tr/xmlui/handle/11363/2113#sthash.QwKlYT2W.dpbs

Tapkan, P., Özbakır, L. ve Baykasoğlu, A. (2010). Arı algoritması ve genelleştirilmiş atama problemi: Farklı komşuluk yapılarının karşılaştırılması. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 21(2), 2-13. Erişim adresi: https://mmo.org.tr/nisan-mayis-haziran/makale/ari-algoritmasi-ve-genellestirilmis-atama-problemifarkli-komsuluk