T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İKİ ÖLÇÜTLÜ AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ: BİR AYAKKABI FABRİKASINDA UYGULAMA

Ayşe ÇELİK

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2020

Dr. Öğr. Üyesi Serkan KAYA danışmanlığında, Ayşe ÇELİK' in hazırladığı "İki Ölçütlü Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri: Bir Ayakkabı Fabrikasında Uygulama" konulu bu çalışma 30/09/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Serkan KAYA .....

Üye : Prof. Dr. Tamer EREN .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İ. Hakan KARAÇİZMELİ .....

Bu Tezin Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Doç. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.
Proje No: 118E355

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3
3. MATERYAL ve YÖNTEM 9
3.1. 0-1 Tamsayılı Programlama Yöntemi 9
3.2. Gri Kurt Algoritması (GKA) 12
3.2.1. Sosyal hiyerarşi 13
3.2.2. Avı kuşatma 14
3.2.3. Avlanma 14
3.2.4. Ava saldırma 15
3.2.5. Av arama 15
3.3. Hibrit Gri Kurt Algoritması (HGKA) 17
3.4. Yerel Arama 19
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 20
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 39
KAYNAKLAR 42
ÖZGEÇMİŞ 47
EKLER 48

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İKİ ÖLÇÜTLÜ AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ: BİR AYAKKABI FABRİKASINDA UYGULAMA

Ayşe ÇELİK

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Serkan KAYA
Yıl: 2020, Sayfa: 50

Çizelgeleme belirli amaç ve kısıtlar altında kaynakların işlere atanması ile ilgili karar verme sürecidir. Günümüzde en çok kullanılan çizelgeleme türlerinden biri de işlerin akış şekline göre belirlenen akış tipi çizelgelemedir. Akış tipi çizelgeleme n tane işin m sayıda makineden aynı sıra ile geçerek tamamlanması ile oluşan çizelgeleme türüdür. İlk başta n iş iki makine ile başlayan bu problemlerde makine sayısının artması, problemi oldukça zor çözülen NP-zor şekline getirmiştir. Problemin NP-zor kapsamına girmesiyle birlikte araştırmacılar çözüme kısa sürede ulaşabilmek için çeşitli metasezgisel yöntemler geliştirmeye başlamışlardır.

Akış tipi çizelgeleme problemleri günümüzde çelik, kimya, ilaç, gıda gibi birçok üretim endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu çalışma akış tipi üretim ortamına sahip, yılda 50 milyon çiftten fazla satış gerçekleştiren bir ayakkabı fabrikasında yapılmıştır. Fabrikanın 28 makineden oluşan bir birimi ele alınmıştır. Problemde maksimum tamamlanma zamanı ve toplam gecikme zamanı olmak üzere iki ölçütün minimizasyonu hedeflenmiştir. Problem önce 0-1 tamsayılı programlama yöntemi ile çözülmüştür. Problem boyutunun giderek büyümesiyle birlikte matematiksel model yetersiz kalmış ve geliştirilen hibrit gri kurt algoritması ile çözüm yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığı zaman amaç fonksiyonunda %58.3 oranında yüksek bir iyileştirme sağlanmıştır. Bunlardan maksimum tamamlanma zamanı ölçütünde %3.9 oranında iyileştirme sağlanırken, toplam gecikme zamanı ölçütünde %72.0 oranında bir iyileştirme sağlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Akış Tipi Çizelgeleme Problemi, 0-1 Tamsayılı Programlama, Gri Kurt Algoritması, Maksimum Tamamlanma Zamanı, Toplam Gecikme Zamanı

ABSTRACT

MSc Thesis

BICRITERIA FLOWSHOP SCHEDULING PROBLEMS: APPLICATION IN A SHOE FACTORY

Ayşe ÇELİK

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Industrial Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Serkan KAYA
Year: 2020, Page: 50

Scheduling is the decision making process for assigning resources to jobs under certain objectives and constraints. Today, one of the most widely used scheduling types is flowshop scheduling, which is determined according to the flow of works. Flowshop scheduling is a type of scheduling that occurs by completing n jobs through m machines in the same sequence. At first, n jobs started with two machines, the increase in the number of machines in these problems, the problem is solved quite NP- hard form. With the problem being covered by NP, researchers started to develop various metaheuristic methods in order to reach the solution in a short time.

Flowshop scheduling problems are used today in many manufacturing industries such as steel, chemical, pharmaceutical, food. This study was done in a shoe factory which a flow-type production environment, with over 50 million pairs of sales per year. A unit of the factory consisting of 28 machines was considered. The objective function of the problem is minimization of bicriteria: maximum completion time and total tardiness time. The problem has been solved first with the 0-1 integer programming method. With the increasing size of the problem, the mathematical model was insufficient and the solution was made with the developed hybrid gray wolf optimization algorithm. When the results are compared, a high improvement of 58.3% has been achieved in the objective function. Among them, 3.9% improvement has been achieved in the maximum completion time criterion, while an improvement of 72.0% has been achieved in the total tardiness time criterion.

KEY WORDS: Flowshop Scheduling Problem, 0-1 Integer Programming, Gray Wolf Optimization Algorithm, Maximum Completion Time, Total Tardiness Time

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen danışmanım Endüstri Mühendisliği Bölümü Dr. Öğr. Üyesi Serkan KAYA hocama ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Doç. Dr. İbrahim Berkan AYDİLEK hocama çok teşekkür ederim.

Çalışmalarımda kullandığım problemin verilerini elde etmemde çok yardımcı olan Üretim Uzman Yrd. Mehmet KÜÇÜK' e ve ekip arkadaşlarına, problem çözümlerim için hiçbir zaman desteğini esirgemeyen arkadaşım Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Arş. Gör. Cengiz KINA' ya ve bu süreçte her zaman yanımda olan tüm arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak katkılarından dolayı unvanını yazmakla bitiremeyeceğim abim Ali ÇELİK' e, tüm eğitim hayatım boyunca hiçbir zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bana her zaman inanan ve güvenen bir tanecik anneme, babama ve tüm aileme sonsuz teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. GKA sözde kodu 16
Şekil 3.2. HGKA akış diyagramı 18

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 4.1. Taillard 20- iş problemlerine ilişkin makespan ve BYS değerleri 22
Çizelge 4.2. Taillard 50- iş problemlerine ilişkin makespan ve BYS değerleri 23
Çizelge 4.3. Taillard 100- iş problemlerine ilişkin makespan ve BYS değerleri 24
Çizelge 4.4. Taillard 200- iş ve 500- iş problemlerine ilişkin makespan ve BYS değerleri..... 26
Çizelge 4.5. Taillard 5- iş problemlerine ilişkin amaç fonksiyonu, makespan (Cmax) ve toplam gecikme değerleri 29
Çizelge 4.6. Problemin fabrikadaki uygulama sonuçları..... 31
Çizelge 4.7. 20 ve 30 iş için 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle elde edilen sonuçlar..... 31
Çizelge 4.8. 40 iş için 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle elde edilen sonuçlar 32
Çizelge 4.9. 50 iş için 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle elde edilen sonuçlar 33
Çizelge 4.10. Problemin HGKA yöntemiyle elde edilen çözüm sonuçları 34
Çizelge 4.11. Probleme ilişkin amaç fonksiyonu, makespan (Cmax)ve toplam gecikme değerleri 35
Çizelge 4.12. Kullanılan çözüm yöntemleriyle elde edilen sonuçların işletmede uygulanana göre iyileştirme oranı..... 36
Çizelge 4.13. Elde edilen sonuçlara göre makespan (Cmax) ve toplam gecikme miktarlarındaki iyileştirme oranı..... 36
Çizelge 4.14. Elde edilen sonuçlara göre işlem süreleri..... 37

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ATÇP	Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri
BATÇP	Beklemesiz Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri
BYS	Bağıl Yüzde Sapma
Cmax	Maksimum Tamamlanma Zamanı (Makespan)
DKA	Değişken Komşuluk Arama
EKİZ	En Kısa İşlem Zamanı
EUİZ	En Uzun İşlem Zamanı
GA	Genetik Algoritma
GKA	Gri Kurt Algoritması
HGKA	Hibrit Gri Kurt Algoritması
KKA	Karınca Kolonileri Algoritması
MILP	Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama
NEH	Nawaz, Enscore, Ham
NP	Polinom zamanda çözülemeyen problemler (Non Polinomial)
OBYS	Ortalama Bağıl Yüzde Sapma
PATÇP	Permütasyon Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri

1. GİRİŞ

Çizelgeleme sınırlı kaynakların, belirli amaç veya amaçlar doğrultusunda, belirli kısıtlar altında ve istenen zamanda, işlere atanması ile ilgili karar verme sürecidir. Çizelgeleme sonucunda hangi işin hangi sıra ile hangi makinede yapılacağına karar verilir (Küçükkoç, 2018). Çizelgeleme hem hizmet hem de üretim sistemlerinde kullanılabilmektedir. Mevcut kaynakların daha verimli kullanılarak karlılığın artırılmasını sağlamak, daha kısa sürede üretimi tamamlayarak müşteri memnuniyetinin artırılmasını sağlamak ve daha birçok nedenden dolayı son zamanlarda çizelgeleme uygulamaları oldukça önem kazanmıştır. Birçok işletme ve üretim tesisleri bu gibi nedenlerden dolayı en uygun sonucu veren çizelgelemeyi uygulamaya çalışmaktadırlar.

Üretim çizelgeleme problemleri kendi arasında işlerin geliş şekline göre, tezgah sayısına göre ve işlerin akış şekline göre sınıflandırılır. İşlerin akış şekline göre sınıflandırılan ve en sık kullanılan türlerinden biri de akış tipi çizelgelemedir. Akış tipi çizelgeleme problemleri (ATÇP) günümüzde çelik, kimya, ilaç, gıda gibi birçok üretim endüstrisinde kullanılmaktadır. Akış tipi çizelgeleme, birbirinden farklı m makine ve n işin bulunduğu, her bir işin m operasyondan oluştuğu, her bir operasyonun farklı makinelerde yapıldığı ve bütün işlerin operasyonlarının aynı işlem sırası ile yapıldığı problemlere denir.

Günümüzde rekabetin artmasıyla birlikte birçok üretim firması maliyetleri düşürerek en kısa zamanda istenen üretimi gerçekleştirmek üzere çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalar yapılırken verimlilik açısından oldukça önemli olan çevrim zamanına da dikkat edilmektedir. Çevrim zamanının düşmesiyle birlikte ürünler daha hızlı bir şekilde üretilip yeni siparişler alınabilmektedir. İşlerin maksimum tamamlanma zamanı (makespan) ne kadar kısa olursa çevrim zamanı da o kadar kısa olur. ATÇP' de en çok kullanılan amaç fonksiyonlarından biri işlerin maksimum tamamlanma zamanını minimize etmektir. İşlerin istenen zamanda üretiminin tamamlanması da diğer önemli faktörlerden biridir. İstenen zamanda tamamlanan ürünler müşteri memnuniyetinin artmasını sağlayacaktır. Bu sebeple

ATÇP' de hedeflenen diğer amaçlardan biri de işlerin gecikme süresini minimize etmektir.

ATÇP' de farklı çözüm yöntemleri mevcuttur. Bunlardan biri olan 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle küçük boyuttaki problemlerde kısa sürede optimal çözüme ulaşılabilmektedir ancak büyük boyuttaki problemlerde çözüm süresi oldukça uzamaktadır. Gerçek hayattaki çoğu problemin boyutu büyük olduğu için bu yöntem yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden de araştırmacılar optimal çözüme ulaşmak yerine optimal çözüme yakın bir sonuç veren ve kısa sürede çözüm elde edebilen metasezgisel yöntemleri tercih etmektedirler (Kaya, 2014). Son zamanlarda araştırmacılar metasezgisel yöntemler üzerinde çalışmalar yaparak çeşitli yöntemler geliştirmeye başlamışlardır.

Bu çalışmada yıllık 50 milyon çiftten fazla satış gerçekleştiren ve 1 500' den fazla kişiye istihdam sağlayan, Türkiye' nin en büyük ayakkabı fabrikalarından biri olan bir işletmenin akış tipi üretim gerçekleştirdiği bir bölümü ele alınmıştır. Ele alınan bölümde 53 çalışan ve 28 farklı işlem bulunmaktadır. Bu bölümde üretimi yapılan 50 çeşit ürün iş olarak ele alınmıştır ve problem, rekabet açısından firmalar için oldukça önemli olan hem maksimum tamamlanma zamanını hem de toplam gecikme zamanını minimize etmeye yönelik çözülmüştür. Problem ilk etapta 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle kaç işe kadar (hangi boyuta kadar) kısa sürede optimal sonucu verebildiğini görebilmek için küçük boyutlara ayrılarak çözülmüştür. Küçük boyuttaki problemlerde 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle optimal çözüme kısa sürede ulaşılmıştır. Problem boyutunun giderek büyütülmesiyle birlikte matematiksel model ile kısa sürede optimal çözüm elde edilememiştir ve metasezgisel yöntem kullanılmıştır. Metasezgisel yöntem olarak gri kurt algoritması (GKA) geliştirilmiştir. Hem 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle elde edilen çözümler hem de GKA ile elde edilen çözümler gerçek hayattaki sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın 2. bölümünde önceki çalışmalar, 3. bölümünde materyal ve yöntem, 4. bölümünde araştırma bulguları ve tartışma ve son olarak 5. bölümünde sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

ATÇP ile ilgili ilk çalışmayı 1954 yılında Johnson yapmıştır. Bu çalışmada iki makine ve n iş problemleri için optimal çözüm veren basit bir algoritma geliştirilmiştir. Daha sonra yapılan çalışmalarda makine sayısının 2'den büyük olduğu durumlar için (m>2) araştırmalar yapılmıştır. Makine sayısının 2'den büyük olduğu problemler NP zor kapsamına girdiğinden ötürü çözümü zorlaşmış ve bu problemler için çeşitli sezgisel yöntemler geliştirilmiştir (Dağ, 2012).

ATÇP' de amaç fonksiyonu genellikle tamamlanma zamanını minimize etmeye yöneliktir. Döyen (2004), ATÇP' de tamamlanma zamanını minimize etmeyi hedeflemiş ve yapay bağışıklık sistemleri ile çözüm yapmıştır. Seçme (2006), Hopfield sinir ağları yöntemini kullanarak dal sınır algoritmasıyla karşılaştırma yapmıştır, bazı sonuçlarda dal sınır algoritmasına göre daha iyi sonuç verememiştir ancak daha hızlı sonuç verebilmesi önemli bir avantaj olmuştur. Öztekin (2009), kesikli sürü parçacık optimizasyonu ve ayırt edici evrimsel algoritma yöntemlerini kullanmıştır. Gasquet ve ark. (2012), Sıraya bağlı kurulum süresine sahip hibrit ATÇP için yazılım ajanı tasarımına dayanan geliştirilmiş genetik algoritma (GA) kullanmışlardır. Yılmaz (2014), Sıraya bağlı hazırlık zamanlı ATÇP' de değişken komşuluk arama (DKA) metodu önermiştir. Çalışmadaki 2 problemin ilkinde tamamlanma zamanını minimize etmeyi, 2.' sinde ise tamamlanma zamanı ve harcanan enerjiyi minimize etmeyi amaçlamıştır.

Karimi ve Davoudpour (2014), Çok amaçlı ATÇP' de çözüm yöntemi olarak GA tabanlı hibrit bir algoritma kullanmışlardır.

Şahin (2014), ATÇP' de paralel doyumsuz algoritma ile çözüm yapmıştır. Çalışmada tamamlanma zamanını minimize etmeye çalışmıştır ve literatürde bulunan diğer yöntemler ile karşılaştırmıştır. Wu ve ark. (2015), öğrenmeyi de dikkate alarak ATÇP' de dal sınır algoritmasına ek olarak büyük boyutlu problemler için sezgisel GA, Küpeli ve ark. (2017), paralel kanguru algoritması, Framinan ve Gonzalez (2017), iki aşamalı ATÇP için değişken bir yerel arama algoritması önermişlerdir.

ATÇP' nin literatürde sık rastlanan türlerinden biri de Esnek ATÇP' dir. Esnek ATÇP, klasik akış tipi ve paralel makine problemlerinin bir genelleştirilmiş halidir. Amaç, işlerin tamamlanma zamanını minimize edecek çizelgeyi bulmaktır. Esnek akış tipi çizelgelemede her kademede 1'den fazla makine vardır ve her iş her kademede yalnızca 1 makinede işlenebilmektedir (Öztürk, 2007). Öztürk (2007), esnek akış tipi ve çok işlemcili esnek ATÇP' yi paralel doyumsuz algoritma ile çözmüştür ve tamamlanma zamanını minimize etmeyi amaçlamıştır. Literatürdeki diğer çözüm yöntemleriyle karşılaştırmış ve bazı problem setlerinde daha iyi sonuçlar alındığını gözlemlemiştir. Ruiz ve ark. (2008), çözüm yöntemi olarak Nawaz ve ark. (1983)' nın etkin NEH algoritmasını kullanmışlardır. Naderi ve ark. (2009), Sıraya bağlı esnek ATÇP' de toplam ağırlıklı gecikmeyi minimize etmeyi amaçlamışlardır. Çözüm yöntemi olarak karma tamsayılı doğrusal programlama (MILP) yöntemi ve elektromanyetizma algoritmasını kullanmışlardır.

Aslan (2014), Esnek ATÇP' de hazırlık zamanını da dikkate alarak tamamlanma zamanını minimize etmeyi amaçlamıştır. Problem önce matematiksel modelle çözülmeye çalışılmış optimal sonuç bulunamayınca sezgisel yöntemle çözüm bulmaya çalışılmıştır. Gerçek hayattan bir problem alarak problemi Uyarlanmış Johnson Kuralı, En Az Boşluk Kuralı ve bu kurallarla karşılaştırma yapılabilmesi için En Kısa İşlem Zamanı (EKİZ) ve En Uzun İşlem Zamanı (EUİZ) yöntemleriyle çözmüştür. Musul (2019), Hazırlık zamanlı ve aşamalar arasında geçiş süresi bulunan esnek ATÇP' yi hibrit genetik dağınık arama yöntemi ile çözmeye çalışmış ve literatürdeki diğer yöntemlere göre küçük boyutlu problemler için oluşturulan 4608 problemden 2672'sinde, büyük boyutlu problemlerde ise incelenen 1536 problemin 1276'sında daha iyi sonuç bulmuştur. Topçam (2019), Çok amaçlı esnek ATÇP için melez ateşböceği algoritmasını kullanmıştır. Çalışmasında maksimum tamamlanma zamanını ve ortalama akış süresini minimize etmeyi amaçlamıştır. Karşılaştırılan diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç verdiği gözlenerek gerçek hayat problemi de çözmüştür.

ATÇP' nin önemli bir kısmını permütasyon akış tipi çizelgeleme problemleri (PATÇP) oluşturur. PATÇP' de n tane işin m tane makine üzerindeki işlem süresi aynıdır. Örneğin 4 tane iş 1. makinede sırasıyla 3-2-1-4 şeklinde işlem gördüyse diğer tüm makinelerde de aynı sıra ile işlem görür. Farklı makinelerde işlem sıralarının

değişimine izin vermeyen PATÇP, diğer akış tipi çizelgeleme problemlerinden daha basit bir yapıya sahiptir (Dağ, 2012). PATÇP' de iş sıraları her makinede aynı olduğu için mümkün olan çizelge sayısı (n!)' dir. Amaç fonksiyonu genellikle tamamlanma zamanını minimize etmektir. Bazı çalışmalarda birden fazla amaç fonksiyonu olabilmektedir.

Yağmahan ve Yenisey (2006), PATÇP' yi karınca kolonileri eniyileme yöntemiyle çözmüşlerdir. Problemde tamamlanma zamanının minimizasyonunu amaçlamışlardır. Algoritma performansı ortalama %30 oranında artmıştır. Naderi ve Ruiz (2010), İlk defa dağıtılmış PATÇP için tamamlanma zamanının minimize edilmesini amaçlamışlardır. Çözüm yöntemi olarak MILP' yi kullanmışlardır. Chen ve ark. (2012), yeni bir genişletilmiş yapay kromozomlu GA önermişlerdir. Tosun (2012), yapay arı kolonisi algoritması, Chen ve ark. (2012), kendinden yönlendirilen bir GA geliştirmişlerdir ve çalışmalarında toplam tamamlanma zamanının minimize edilmesini amaçlamışlardır. Wang ve Tang (2012), Bloklamalı PATÇP' de yerel aramanın da benimsendiği ayrık parçacık sürü optimizasyonunu kullanmışlardır. Liu ve Liu (2013), hibrit bir yapay arı kolonisi algoritması geliştirmişlerdir. Viagas ve Framinan (2014), yinelenen açgözlü algoritmaya yeni bir bağ kırma mekanizması eklemişlerdir, Viagas ve Framinan (2015), NEH tabanlı bir algoritma yaklaşımı, Hsu ve ark. (2015), blok tabanlı evrimsel algoritmada bir bağlantı madenciliği kullanmışlardır.

Çiçekli ve Bozkurt (2016), dağınık arama ile bir model geliştirmişlerdir. Tayeb ve ark. (2017), Evrimsel süreçler sırasında GA' ların erken yakınsama probleminin üstesinden gelmek için PATÇP' ye bir GA ve melez bağışıklık algoritması, Liu ve ark. (2017), NEH algoritmasını geliştirerek NEHLJP1 adlı yeni bir sezgisel çözüm önermişlerdir ve mevcut NEH sezgiseliyle kıyaslamışlardır. Bargaoui vd. (2017), Dağıtılmış PATÇP için yeni bir kimyasal reaksiyon optimizasyonu algoritmasını kullanmışlardır. Peng ve ark, (2018), Kurulum zamanlı PATÇP için GA ve DKA yöntemini geliştirerek yeni bir hibrit algoritma geliştirmişlerdir. Çalışmalarında maksimum tamamlanma zamanını minimize etmeyi amaçlayarak literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırma yapmışlardır.

Ruiz ve ark. (2019), Dağıtılmış PATÇP için geliştirdikleri yinelenen açgözlü algoritmayı kullanmışlardır. Kurdi (2020), GA ve NEH birleşiminden oluşan bir memetik algoritma önermiştir. Ortalama olarak bağıl hatayı %37.92 oranında iyileştirerek diğer birçok yöntemden iyi sonuç elde etmiştir. Gonzalez ve ark. (2020), gerçek hayat probleminden esinlenerek PATÇP için yinelenen açgözlü metasezgisel yöntem önermişlerdir ve çalışmalarında tamamlanma zamanının minimizasyonunu amaçlamışlardır.

Abedinnia ve ark. (2016), PATÇP için NEH sezgiselinin genişletilmesiyle oluşturulmuş sezgisel kullanmışlardır ve en iyi bilinen basit buluştan daha iyi bir performans göstermesini sağlamışlardır. Pan ve ark. (2019), Dağıtılmış PATÇP için NEH' den ilham alarak geliştirdikleri yöntemleri kullanmışlardır, çalışmalarında toplam akış süresini minimize etmeye çalışmışlardır.

Lin ve Ying (2013), PATÇP' de maksimum tamamlanma zamanının ve toplam akış zamanının minimize edilmesi için iki hedefli çok başlangıçlı bir tavlama algoritması kullanmışlardır. Yahyaoui ve ark. (2015), hibrit yinelenen yerel arama ve değişken komşuluk arama bazlı hiper-sezgisel yöntemin kullanıldığı zor kombinasyonel optimizasyon problemlerini içeren ampirik bir çalışma yapmışlardır. Zangari ve ark. (2018), geliştirdikleri yeni bir dağıtılmış algoritma (Mallows models estimation of distribution algorithms (MEDA/D-MK) ile çözüm yapmışlardır.

Xu ve ark. (2014), PATÇP için memetik algoritma geliştirmişlerdir. Problemin amaç fonksiyonunda hazırlık süresinin ve tamamlanma zamanının minimizasyonunu amaçlamışlardır. Hatami ve ark. (2015), Sıraya bağlı, kurulum zamanlı PATÇP' de tekrarlanan açgözlü algoritması kullanmışlardır.

Wang ve Zhang (2015), Ağırlıklı öğrenme etkilerini de dikkate alarak PATÇP' de dal sınır algoritmasına ek olarak büyük boyutlu problemler için geliştirdikleri Modify- Framinan ve Leisten (MFL) algortimasını kullanmışlardır.

Birgin ve ark. (2020), PATÇP' de filtrelenmiş ışın arama metodunu kullanarak erken ve gecikme cezalarını ve bekleme süresini minimize etmeyi amaçlamışlardır. Başlangıçta MILP modeli kullanmışlardır ancak problemin karmaşıklığı nedeniyle sezgisel yöntem geliştirmişlerdir.

Karabulut (2016), rastgele bir yerel arama kullanan hibrit yinelenmiş açgözlü algoritma kullanmıştır. Jing ve ark. (2020), dağıtılmış PATÇP için toplam ağırlıklı erken ve geç tamamlanma zamanını minimize etmeye yönelik çalışma yapmışlardır ve NEH tabanlı yinelenen açgözlü algoritma önermişlerdir. Literatürdeki karşılaştırdıkları diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Riahi ve ark. (2020), yeni bir yinelenen açgözlü algoritma önermişlerdir ve toplam gecikme süresini minimize etmeye çalışmışlardır. Test edilen 360 problemin %50' sinden fazlasında en iyi sonucu elde etmişlerdir.

ATÇP' nin önemli bir sınıfı beklemesiz kısıtı ile karakterize edilir. Yani işler ardışık makineler arasında veya üzerinde beklemeksizin sürekli olarak işlem görmek zorundadır. Bu kısıt işlem teknolojisinin kendisine özgü bir özelliğidir. Beklemesiz akış sisteminde kesintisiz işlem zorunluluğu dolayısı ile gerektiğinde bir işin işleme başlaması, bir işleminin verilen bir makinede tamamlanması ile takip eden işlemin diğer makinede hemen başlamasını sağlayacak şekilde geciktirilebilir (Eren ve Güner, 2005). Beklemesiz akış tipi çizelgelemede her bir iş, ilk makine merkezinde başlanmasından son makine merkezinde tamamlanmasına kadar makinelerde herhangi bir kesinti ve makine merkezleri arasında herhangi bir bekleme olmaksızın sürekli olarak işlenir. Paralel makineli beklemesiz akış tipi çizelgeleme problemi (BATÇP), birkaç basit akış hatları olan kimyasal işlemde ve petro-kimya üretim çevresinde çoğalmaktadır. Beklemesiz duruma bir diğer örnek, metallerin sürekli olarak yüksek derecede islenmesi gereken sıcak metal haddeleme endüstrilerindedir. Son yıllarda, beklemesiz çizelgeleme problemlerine ilgi dikkate değer miktarda artmaktadır (Günaydın, 2008).

Keskin (2010), BATÇP' yi geliştirdiği çok amaçlı GA yöntemi ile çözmüştür. Çalışmasında maksimum tamamlanma zamanı ve toplam akış zamanını minimize etmeyi hedeflemiştir ve literatürde bulunan başka bir yöntemle karşılaştırmıştır. Güçlü (2010), karınca kolonileri algoritması (KKA) ile çözerek yapay sinir ağları ile karşılaştırmıştır. Çalışmasında 192 problemden 171' inde KKA' nın daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Allahverdi vd. (2018), simüle edilmiş tavlama ve yerleştirme algoritmasının kombinasyonu olan bir algoritma önermişlerdir ve çalışmalarında toplam gecikme ve tamamlanma zamanını minimize etmeye çalışmışlardır.

Gerçek hayatta problemler bazen birden fazla amaç içermektedir. Bu yüzden araştırmacılar son yıllarda çok amaçlı ATÇP üzerine çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmada da hem maksimum tamamlanma zamanı hem de toplam gecikme zamanını minimize etmeye yönelik iki ölçütlü bir problem ele alınmıştır. Literatürde daha önceden de hem maksimum tamamlanma zamanı hem de toplam gecikme ölçütleri olmak üzere iki ölçütlü yapılmış çalışmalar mevcuttur. Tajbakhsh ve ark. (2014), önce küçük boyuttaki problemler için optimal çözümü veren MILP yöntemini kullanmışlardır, problem boyutu büyüyünce GA ve PSO ile oluşturdukları hibrit bir yöntem kullanmışlardır. Viagas ve Framinan (2015), sınırlı ekleme tabanlı yapıcı sezgisel ve gelişmiş popülasyon tabanlı olmayan algoritmaya uygulanabilir tabu yerel arama yöntemini dahil ederek çözmeye çalışmışlardır. Deng ve Wang (2017), rekabetçi bir memetik algoritma önermişlerdir. Lebbar ve ark. (2018), MILP, Zhongshi ve ark. (2018), çok amaçlı bir ayrık istilacı ot optimizasyonu kullanmışlardır ve hem maksimum tamamlanma zamanını hem de toplam gecikme zamanını minimize etmek üzere iki ölçütlü amaç fonksiyonu kullanmışlardır.

Bu çalışmada da ele alınan problem hem maksimum tamamlanma zamanını hem de toplam gecikme zamanını minimize etmek üzere amaçlanmış iki ölçütlü bir problemdir. Problem hem 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle hem de yerel arama da dahil edilerek geliştirilmiş hibrit gri kurt algoritması ile çözülmüştür. ATÇP arasında literatürde bilindiği kadarıyla bir ayakkabı fabrikasındaki problem için bu iki ölçüt üzerine yapılmış ilk çalışmadır. Ayrıca ATÇP için yapılan literatür taramasında incelenen çalışmalar arasında çözüm yöntemi olarak hem 0-1 tamsayılı programlama yöntemi hem de hibrit gri kurt algoritması yöntemi olmak üzere 2 farklı çözüm yöntemi kullanan bir çalışmaya rastlanmamıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmadaki problem yıllık satış miktarı 50 milyon çiftten fazla olan ve 1 500' den fazla çalışanı bulunan bir ayakkabı fabrikasının akış tipi üretim gerçekleştirdiği bölümünde verimlilik artışını sağlamak, ürünlerin teslim tarihlerinden sapmalarını minimize etmek ve müşteri memnuniyetini artırmak gibi nedenlerden dolayı ele alınarak çözümü yapılmıştır. Problem 50 iş, 28 makineden oluşmaktadır. Her işin belli bir teslim süresi vardır. Amaç fonksiyonu olarak hem maksimum tamamlanma zamanı (makespan) hem de toplam gecikme zamanını minimize etmek hedeflenmiştir.

Çalışmada ele alınan problem önce 0-1 tamsayılı programlama yöntemi olarak ATÇP' nin matematiksel modeli ile çözülmüştür. Daha sonrasında büyük boyuttaki problemlerde matematiksel modelde çözüm süresinin uzamasından dolayı metasezgisel yöntemle de çözüm yapılmıştır. Metasezgisel yöntem olarak yerel arama ile Gri Kurt Optimizasyon Algoritmasının birlikte kullanılmasıyla geliştirilen hibrit gri kurt algoritması (HGKA) kullanılmıştır.

3.1. 0-1 Tamsayılı Programlama Yöntemi

Problemler öncelikle 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle çözülmüştür. ATÇP ile ilgili temel varsayımlar şöyledir (Ruiz ve Maroto, 2005):

a. i işi birim zamanda tek bir j makinesinde işlem görebilir.

b. j makinesi birim zamanda tek bir i işini yapabilir.

c. İşin bölünmesine izin verilmez, j makinesi i işini yapmaya başladığı zaman kesintiye uğratmaksızın tamamlaması gerekir.

d. Bütün işler birbirinden bağımsız ve sıfır zamanında hazırdır.

e. İşlerin makinelerdeki hazırlık zamanları önemsizdir ve çizelgeleme sırasında göz ardı edilebilir.

f. Makineler çizelgeleme boyunca çalışır durumdadır.

g. Süreç içi stoğa izin verilir.

ATÇP' ye ait makespan ve toplam gecikme sürelerini minimize etmeyi amaçlayan matematiksel model oluşturulurken Eren (2004)' in çalışmasından yararlanılmıştır. Birden fazla amaç içeren çalışmalar tek değerde birleştirilebilmek için ağırlıklandırılırlar (Kaya ve Fığlalı, 2018). Bu çalışmanın amaç fonksiyonundaki her iki ölçüt eşit derecede önemli olduğu için ikisinin de katsayısı 0,5 olarak alınmıştır ancak modelin yapısı katsayıların ölçütlerin önemine göre farklı olarak ağırlıklandırılmasına da uygundur.

İndisler

i: işler *(i= 1, 2, ……., I)*

j: makineler *(j= 1, 2, ……., J)*

k: sıra- pozisyon *(k= 1, 2, ….., K)*

Parametreler

t_{ij} *:* i işinin j makinesindeki işlem süresi $(\forall i \in I, \forall j \in J)$

S_i*:* i işinin teslim süresi $(\forall i \in I)$

α: Maksimum tamamlanma zamanının ağırlığı $(\alpha \geq 0)$

β: Toplam gecikme zamanının ağırlığı $(\beta \geq 0)$

$$\alpha + \beta = 1$$

Karar Değişkenleri

x_{ik}*:* i işi k. sırada yapılıyorsa 1, aksi halde 0 $(\forall i \in I, \forall k \in K)$

C_{kj}*:* k . sıradaki işin j makinesinde tamamlanma zamanı $(\forall k \in K, \forall j \in J)$

P_{kj}: k. sıradaki işin j makinesindeki işlem süresi $(\forall k \in K, \forall j \in J)$

R_k: k. sırada yapılan işin teslim zamanı $(\forall k \in K)$

GC_k: k. sırada yapılan işin gecikme süresi $(\forall k \in K)$

C_{max}: Son işin son makineden çıkma zamanı

Matematiksel Model

$$Min \ \alpha \, C_{\max} + \beta \sum_{k \in K} GC_k \tag{1}$$

$$\sum_{k \in K} x_{ik} = 1 \quad ,\forall i \in I \tag{2}$$

$$\sum_{i \in I} x_{ik} = 1 \quad ,\forall k \in K \tag{3}$$

$$P_{kj} = \sum_{i \in I} x_{ik} t_{ij} \quad ,\forall k \in K, \forall j \in J \tag{4}$$

$$C_{kj} \geq C_{k(j-1)} + P_{kj} \qquad ,\forall j \in J / \{1\}, \forall k \in K \tag{5}$$

$$C_{kj} \geq C_{(k-1)j} + P_{kj} \qquad ,\forall j \in J, \forall k \in K / \{1\} \tag{6}$$

$$C_{11} = P_{11} \tag{7}$$

$$R_k = \sum_{i \in I} x_{ik} S_i \qquad ,\forall k \in K \tag{8}$$

$$GC_k \geq C_{k(json)} - R_k \qquad ,\forall k \in K \tag{9}$$

$$x_{ik} \in \{0,1\} \quad ,\forall i \in I, \forall k \in K \tag{10}$$

$$C_{kj}, P_{kj}, R_k, GC_k, C_{\max} \geq 0 \quad ,\forall k \in K, \forall j \in J \tag{11}$$

Modelde denklem (1) son işin son makineden çıkış zamanının yani makespan değerinin ve işlerin teslim zamanlarına göre toplam gecikme sürelerinin minimizasyonunu amaçlamaktadır. Denklem (2) her işin sadece bir sıraya atanabileceğini, denklem (3) ise her sıraya sadece bir işin atanabileceğini göstermektedir. Denklem (4) *k.* sırada yapılan işin *j* makinesindeki işlem süresinin, o işin o makinedeki işlem süresine eşit olduğunu ifade etmektedir. Denklem (5) ve denklem (6) *k.* sıradaki işin *j* makinesinde tamamlanma zamanını göstermektedir. Denklem (7) ilk sıradaki işin ilk makinede tamamlanma zamanının o işin o makinedeki işlem süresine eşit olduğunu ifade etmektedir. Denklem (8) *k.* sırada yapılan işin teslim zamanının o sırada yapılan *i* işinin teslim zamanına eşit olduğunu, denklem (9) ise *k.* sırada yapılan işin teslim zamanına göre gecikme süresini ifade etmektedir. Denklem (10) ve denklem (11) ise karar değişkenlerine ait işaret kısıtlarıdır.

3.2. Gri Kurt Algoritması (GKA)

Gri kurtlar besin zincirinin en üstünde yer alan, en tepedeki yırtıcı hayvanlar olarak kabul edilirler. Çoğunlukla bir sürü içinde yaşamayı tercih ederler ve çok katı bir sosyal baskın hiyerarşiye sahiptirler. Grup büyüklüğü ortalama olarak 5-12 arasındadır (Mirjalili ve ark., 2014).

Gri kurt hiyerarşisi alfa, beta, delta ve omega olmak üzere 4 seviyeden oluşur. Alfa seviyesi lider kurdu temsil eder. Alfa kurdu çoğunlukla avlanma, uyuma yeri, uyanma zamanı vb. kararları vermekten sorumludur. Sürüde alfanın verdiği kararlar geçerlidir. Aynı zamanda, bir alfa sürüdeki diğer kurtları da takip eder. Sürüdeki tüm kurtlar alfa kurdunun verdiği kararları kabul eder ve bu yüzden alfa kurdu baskın kurt olarak da adlandırılır. Alfa kurtları sürüdeki en güçlü kurtlar değil, sürüyü yönetme açısından en iyi kurtlardır. Bu durum bir sürünün organizasyonunun ve disiplininin gücünden daha önemli olduğunu gösterir.

Gri kurt hiyerarşisindeki ikinci seviye betadır. Betalar, karar verme veya diğer faaliyetlerinde alfaya yardımcı olan ikincil kurtlardır. Beta kurtlar alfa kurtlarından birinin ölmesi veya çok yaşlanması durumunda alfa olmaya en iyi aday olan kurtlardır. Beta kurt, alfaya saygı duyar ancak diğer alt seviyedeki kurtlara da komuta eder. Alfa

için bir danışmandır ve sürü içinde de disiplin görevlisidir. Beta, sürü içerisinde alfanın komutlarını güçlendirir ve alfaya geri bildirim sağlar.

Hiyerarşinin en alt sırasındaki gri kurt omegadır. Omega kurtları her zaman diğer tüm baskın kurtlara boyun eğmek zorundadır. Sürüde omega kurtların yiyecek yemesi için en son izin verilen kurtlardır. Omega sürüde önemli bir birey değil gibi görünebilir ancak tüm sürünün omegayı kaybetme durumunda iç çatışmalar ve sorunlarla karşılaştığı gözlemlenmiştir. Çünkü omegalar, tüm sürüyü tatmin etmeye ve egemenlik yapısını korumaya yardımcı olur.

Bir kurt bir alfa, beta veya omega değilse ona delta denir. Delta kurtları alfa ve betalara boyun eğmek zorundadır ancak omegaya hükmederler. İzciler, nöbetçiler, yaşlılar, avcılar ve bakıcılar bu kategoriye girer. İzciler, bölgenin sınırlarını izlemek ve herhangi bir tehlike ile karşılaşılması durumunda sürüyü uyarmakla yükümlüdürler. Nöbetçiler, sürünün güvenliğini korumaktadırlar. Yaşlılar, alfa veya beta olan deneyimli kurtlardır. Avcılar, av avlarken ve sürü için yiyecek sağlarken alfa ve betalara yardım eder. Son olarak, bakıcılar sürüdeki zayıf, hasta ve yaralı kurtların bakımından sorumludurlar.

Gri kurtların sosyal hiyerarşisi dışında avcılığının ana aşamaları şöyledir:

1. Avı takip etmek, kovalamak ve yaklaşmak.
2. Avı hareket etmeyi bırakana kadar takip etmek, çevrelemek ve taciz etmek.
3. Ava saldırmak.

3.2.1. Sosyal hiyerarşi

GKA 'yı tasarlarken kurtların sosyal hiyerarşisini matematiksel olarak modellemek için, en uygun çözüm alfa (α) olarak kabul edilir. İkinci ve üçüncü en iyi çözümler sırasıyla beta (β) ve delta (δ) olarak adlandırılır. Geri kalan aday çözümlerin ise omega (ω) olduğu varsayılır. GKA' nda avlanma (optimizasyon) α, β ve δ tarafından yönlendirilir, ω kurtlar ise bu üç kurdu takip eder.

3.2.2. Avı kuşatma

Gri kurtlar av sırasında avın etrafını sarar. Bu davranışı matematiksel olarak modellemek için şu denklemler önerilmiştir:

$$D = |C.Xp(t) - X(t)| \quad (3.1)$$

$$X(t+1) = Xp(t) - A.D \quad (3.2)$$

Denklemlere göre t mevcut iterasyonu gösterir. A ve C katsayı vektörlerini, Xp avın pozisyonunu, X ise gri bir kurdun konumunu göstermektedir.

A ve C vektörleri şöyle hesaplanır:

$$A = 2\,\alpha.r_1 - \alpha \quad (3.3)$$

$$C = 2.r_2 \quad (3.4)$$

α vektörünün bileşenleri iterasyonlar boyunca doğrusal olarak 2' den 0' a düşürülmüştür ve r_1 ve r_2 [0, 1] arası rastgele vektörlerdir. Yukarıdaki denklemlere göre gri kurt avının yerine göre konumunu güncelleyebilir.

3.2.3. Avlanma

Gri kurtlar, avın yerini tanıma ve onları kuşatma yeteneğine sahiptir. Av genellikle alfa tarafından yönlendirilir ama beta ve delta da ara sıra avlanmaya katılabilir. Gri kurtların avlanma davranışını matematiksel olarak simüle etmek için, alfa (en iyi çözüm adayı) beta ve deltanın avın potansiyel konumu hakkında daha iyi bilgiye sahip olduğunu varsayarak şimdiye kadar elde edilen en iyi üç çözüm kaydedilir ve diğer arama ajanları (omegalar dahil) en iyi arama ajanlarının pozisyonuna göre konumlarını güncellemeye mecbur edilir. Bu bağlamda aşağıdaki formüller önerilmektedir.

$$D_\alpha = |C_1.X_\alpha - X|,\ D_\beta = |C_2.X_\beta - X|, \quad D_\delta = |C_3.X_\delta - X| \tag{3.5}$$

$$X_1 = |X_\alpha - A_1.D_\alpha|,\ X_2 = |X_\beta - A_2.D_\beta|,\ X_3 = |X_\delta - A_3.D_\delta| \tag{3.6}$$

$$X(t+1) = \frac{(X_1+X_2+X_3)}{3} \tag{3.7}$$

Alfa, beta ve delta avın konumunu tahmin eder ve diğer kurtlar avın etrafındaki konumlarını rastgele günceller.

3.2.4. Ava saldırma

Gri kurtlar avı durduğu zaman avına saldırırlar. Ava yaklaşmayı matematiksel olarak modelleyebilmek için α değeri düşürülür. A vektörü [−2 α, 2 α] aralığında rastgele bir değerdir, burada α iterasyonlar boyunca 2'den 0'a düşürülür. Rastgele A değerleri [−1, 1] aralığında olduğunda, bir arama aracısının bir sonraki pozisyonu, mevcut pozisyonu ile avın pozisyonu arasındaki herhangi bir pozisyonda olabilir. | A | <1 kurtları avına saldırmaya zorlar.

Buraya kadar GKA arama bireylerinin alfa, beta ve deltanın konumuna göre konumlarını güncellemelerine izin verir ve avına saldırır. Bununla birlikte, GKA yerel çözümlerde durgunluğa meyillidir. Buraya kadar çevreleyen mekanizmanın önerdiği keşif bir dereceye kadar doğruyu gösterir ancak GKA' nın araştırmayı vurgulamak için daha fazla operatöre ihtiyacı vardır.

3.2.5. Av arama

Gri kurtlar genellikle alfa, beta ve deltanın konumuna göre arama yapar. Av aramak için birbirlerinden ayrılırlar ve avlarına saldırmak için birleşirler. Sapmayı matematiksel olarak modellemek için, arama aracısını avdan uzaklaşmaya zorlamak gerekir ve bunun için 1'den büyük veya -1'den küçük rasgele A değerlerinden yararlanılır. GKA' nın keşfi destekleyen bir başka bileşeni de C vektörüdür. C vektörü [0, 2] arasında rastgele değerler içerir. Bu bileşen, eşitlikteki mesafeyi tanımlamada

avın etkisini stokastik olarak vurgulamak (C >1) veya önemini azaltmak (C <1) amacıyla av için rastgele ağırlıklar sağlar.

Özetle, arama süreci GKA' nda rastgele bir gri kurt popülasyonu oluşturmakla başlar. İterasyonlar boyunca alfa, beta ve delta kurtları, avın olası konumunu tahmin eder. Her aday çözüm, avdan uzaklığını günceller. Sırasıyla keşif ve sömürü vurgulamak için α parametresi 2'den 0'a düşürülmüştür. Aday çözümler avdan | A | >1 iken uzaklaşır ve | A |<1 iken avla birleşir. Son olarak, GKA, bir bitiş kriterinin karşılanmasıyla sonlandırılır. GKA sözde kodu Şekil 3.1' deki gibidir.

```
Gri kurt algoritmasını başlat Xi (i=1, 2, ….., n)
α, A ve C vektörlerini başlat
Her arama aracısının uygunluğunu hesapla
X_α = En iyi arama aracısı
X_β = İkinci en iyi arama aracısı
X_δ = Üçüncü en iyi arama aracısı
while (t < maksimum iterasyon sayısı)
    for her arama aracısı
        mevcut arama aracısının pozisyonunu güncelle
    end for
    α, A ve C vektörlerini güncelle
    Tüm arama aracısının uygunluğunu hesapla
    X_α, X_β ve X_δ güncelle
    t = t + 1
end while
return X_α
```

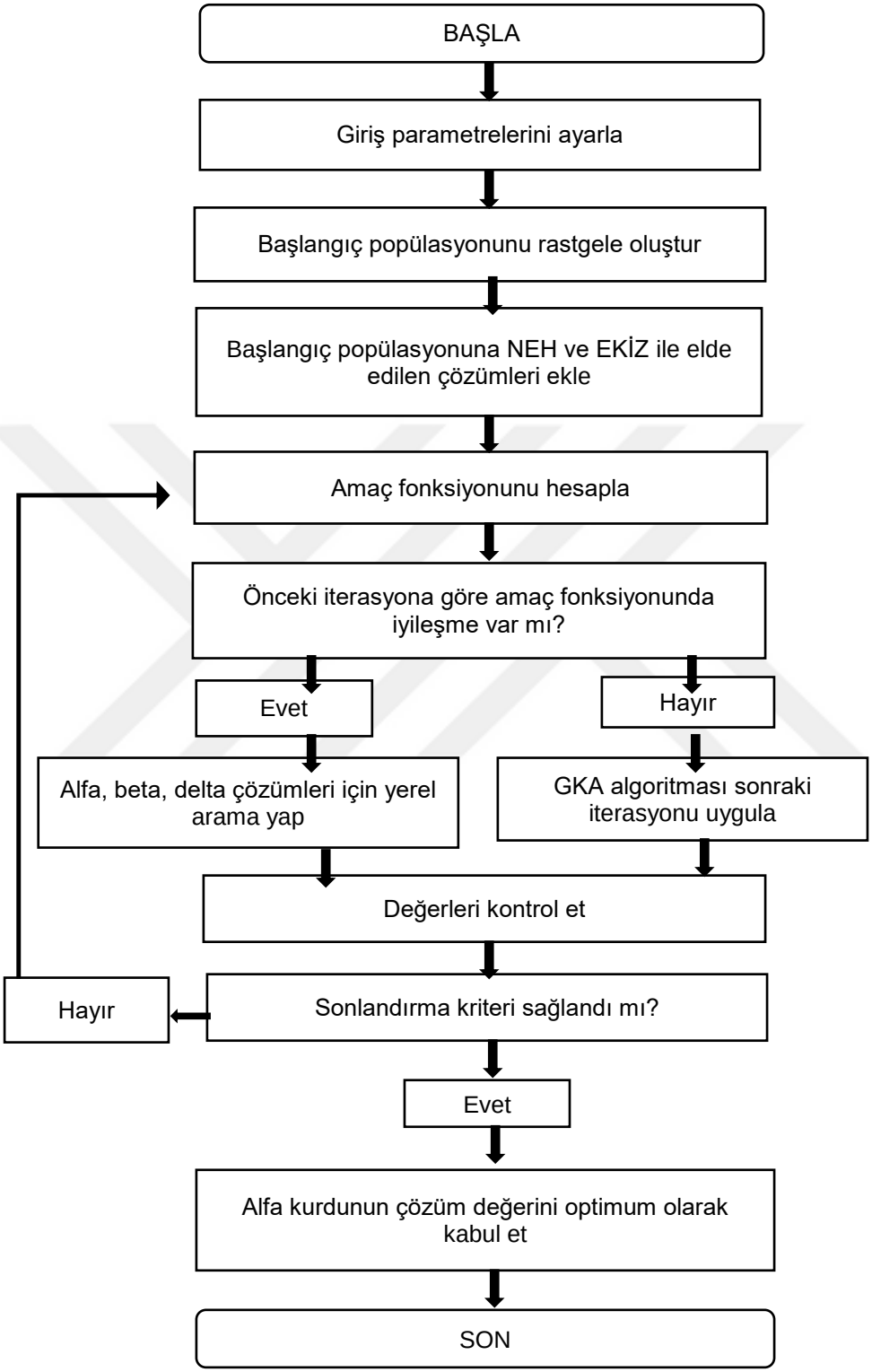
Şekil 3.1. GKA sözde kodu

3.3. Hibrit Gri Kurt Algoritması (HGKA)

Bu çalışmada çözüm kalitesini artırmak için GKA yöntemine yerel arama da dahil edilerek hem maksimum tamamlanma zamanını hem de toplam gecikme zamanını minimize etmek üzere iki amaçlı ATÇP' nin çözümü yapılmıştır.

Geliştirilen HGKA yönteminin başlangıç popülasyonu sayısı 100 olarak alınmıştır, %10 NEH, %40 EKİZ kuralı ve %10 en erken teslim zamanı kuralı uygulanmıştır. Geriye kalan popülasyonlar ise rassal olarak oluşturulmuştur. İterasyon sayısı 1000, sürü sayısı 100 olarak belirlenmiştir. Pozisyonlar için alt sınır -100 ve üst sınır +100 şeklindedir. α parametresi 2' den 0' a doğru lineer olarak azalmaktadır.

Bu yöntemde elde edilen alfa, beta ve delta kurtlarının çözümlerinde iyileşme sağlandığı zaman bu çözümlere yerel arama da uygulanmıştır. HGKA yönteminin akış diyagramı şekil 3.2' deki gibidir.



Şekil 3.2. HGKA akış diyagramı

3.4. Yerel Arama

Yerel arama yöntemleri optimal çözüme ulaşmak için bir dizi yerel değişiklik gerçekleştirerek ilerlerler ve her seferinde başlangıç çözümündeki amaç fonksiyonunda iyileştirme yaparlar. Her iterasyonda elde edilen mevcut çözümün komşuluğunda geliştirilmiş yeni bir çözüm elde edilir. Bu çalışmada değişken komşuluk arama (DKA) metodu kullanılmıştır (Mladenovic and Hansen, 1997). DKA bir yörünge izlemez, mevcut çözüme giderek uzaklaşan komşu çözümleri keşfeder ve mevcut yerleşik çözümün yerine geçer. Her seferinde daha iyi bir çözüme ulaşır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada çözümü yapılan problem yıllık satış miktarı 50 milyon çiftin üzerinde olan ve 1 500' den fazla kişiye istihdam sağlayan, Türkiye' deki en büyük ayakkabı fabrikalarından birinden alınmıştır. Fabrikanın bir bölümünde ürünler, baştan sona aynı işlem sırasını takip ederek akış tipi üretim gerçekleştirmektedir. Toplam 53 çalışanı olan bu bölümde üretimi yapılan 50 farklı model iş olarak, 28 işlem de makine olarak ele alınmıştır.

Çalışmanın yapıldığı fabrikada bazı dönemler sipariş miktarlarının çok yüksek olması durumunda, üretimi yapılan ürünlerin müşteriye teslimiyle ilgili bazı gecikmeler yaşanmaktadır. Teslim zamanları geçen ürünler hem müşteri memnuniyetsizliğini getirmektedir hem de yeni sipariş alabilmenin önüne geçmektedir. Bu durumun önüne geçip müşteriye zamanında ürünleri teslim edebilmek için fabrikada bazı zamanlarda fazla mesai uygulanmaktadır. Fazla mesai uygulaması da fabrikaya ciddi oranda masraf oluşturmaktadır. Özetle, çalışmanın yapıldığı fabrikada siparişlerin yüksek olduğu dönemler için 3 farklı seçenek mevcuttur:

1- Bazı siparişleri müşteriye gecikmeli olarak teslim etmek,
2- Siparişleri zamanında yetiştirebilmek için çalışanlara fazla mesai yaptırmak,
3- Bazı siparişler yetişmeyeceği için siparişlerin bir kısmını alamamak.

Her 3 seçenek de fabrika için kayıp oluşturmaktadır. Fabrikadaki depolama alanı yeterli büyüklükte olduğu için modellerin üretimi ile ilgili uzun vadeli planlar yapılıp gerekli malzemeler önceden temin edilebilmektedir. Fabrika hem kaynakları en etkin ve en verimli şekilde kullanarak üretimin mümkün mertebede kısa sürede tamamlanmasını hem de siparişlerin teslim zamanlarından önce tamamlanıp müşteriye teslim edilmesini istediği için ele alınan problem hem maksimum tamamlanma zamanını hem de toplam gecikme zamanını minimize etmeye yönelik iki ölçütlü olarak çözülmüştür.

Problem önce küçük boyutlu olarak ele alınmıştır ve 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle çözülmüştür. 20 işle başlayan problem, daha sonra 30 iş, 40 iş ve 50 iş

şeklinde çözülmüştür. 40 ve 50 iş' lik problemlerde matematiksel model ile 1 saat içinde optimal çözüme ulaşılamamıştır. Problemler daha sonrasında ATÇP arasında ilk defa bu çalışmada kullanılan HGKA ile çözülerek hem gerçek hayattaki sonucuyla hem de matematiksel modelle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Problemi çözmek için kullanılan HGKA yönteminin diğer yöntemlere göre ne kadar rekabet edebilir düzeyde olduğunu göstermek amacıyla daha önce farklı yöntemlerle çözülmüş bazı çalışmalarla karşılaştırılmıştır. İlk olarak literatürde bulunan Taillard problem setleri üzerinde denenmiştir fakat Taillard problem setlerinin ilk 30 tanesi dışında geriye kalan 90 tanesinin literatürde teslim zamanları olmadığı için sadece maksimum tamamlanma zamanı amaçlanarak çözüm yapılmıştır (Taillard, 1993). Algoritma MATLAB uygulamasına kodlanmıştır ve problemler Intel (R) Core (TM) i7-6500U CPU @ 2.50 GHz işlemcili 8GB Ram Bellek özellikli bilgisayarda çözülmüştür. Matematiksel model GAMS 24.0.2 uygulamasında HGKA yöntemi ise MATLAB (2018) uygulaması üzerinde 1 kez çözülmüştür. Sonuçlar Nailwal ve ark. (2019)' nın geliştirdikleri bağ kırma yöntemi, Nawaz ve ark. (1983) tarafından sunulan NEH yöntemi, Campbell ve ark. (1970) tarafından sunulan CDS yöntemi, Ying ve Lin (2013) tarafından sunulan CLWTS yöntemi, Gupta ve Chauhan (2015) tarafından sunulan GC yöntemi, Baskar (2016) tarafından sunulan NEHAB1 yöntemi olmak üzere 6 farklı yöntemle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve bağıl yüzde sapma (BYS) oranı aşağıdaki Çizelgelarda verilmiştir. BYS oranı aşağıdaki şekilde hesaplanmştır (Nailwal ve ark., 2019). Çizelgedaki üst sınır değeri optimal olan üst sınır değerlerdir.

$$BYS = \frac{Makespan\ (metasezgisel) - Makespan\ (en\ iyi)}{Makespan\ (en\ iyi)} x\ 100$$

Çizelge 4.1. Taillard 20- iş problemlerine ilişkin makespan ve BYS değerleri

Problem		Makespan							BYS						
Problem boyutu	Üst Sınır	HGKA	Bağ Kırma Yön.	NEH	CDS	CLWTS	GC	NEHAB1	HGKA	Bağ Kırma Yönt.	NEH	CDS	CLWTS	GC	NEHAB1
20x5															
1	1278	**1279**	1297	1286	1390	1305	1367	1286	**0.08**	1.49	0.63	8.76	2.11	6.96	0.63
2	1359	**1365**	1366	**1365**	1424	1371	1432	1367	**0.44**	0.52	**0.44**	4.78	0.88	5.37	0.59
3	1081	1132	**1107**	1159	1249	1135	1162	1139	4.72	**2.41**	7.22	15.54	5.00	7.49	5.37
4	1293	**1315**	1354	1325	1418	1323	1402	1337	**1.70**	4.72	2.47	9.67	2.32	8.43	3.40
5	1235	1250	1283	1305	1323	1305	1300	**1244**	1.21	3.89	5.67	7.13	5.67	5.26	**0.73**
6	1195	1224	1220	1228	1312	**1210**	1276	1212	2.43	2.09	2.76	9.79	**1.26**	6.78	1.42
7	1239	**1251**	**1251**	1278	1393	1270	1393	1280	**0.97**	**0.97**	3.57	12.88	2.92	12.88	3.73
8	1206	1212	**1206**	1223	1345	1224	1291	1224	0.50	**0.00**	1.41	11.53	1.49	7.05	1.49
9	1230	**1257**	1271	1291	1360	1292	1352	1270	**2.20**	3.33	4.96	10.57	5.04	9.92	3.25
10	1108	1151	1137	1151	1164	**1127**	1190	1153	3.88	2.62	3.88	5.05	**1.71**	7.40	4.06
OBYS									**1.81**	2.20	3.30	9.57	2.84	7.75	2.47
20x10															
1	1582	**1601**	1628	1680	1757	1646	1658	1655	**1.20**	2.91	6.19	11.06	4.05	4.80	4.61
2	1659	1720	1748	1729	1854	**1711**	1802	1729	3.68	5.36	4.22	11.75	**3.13**	8.62	4.22
3	1496	1542	1542	1557	1645	1559	1621	**1541**	3.07	3.07	4.08	9.96	4.21	8.36	**3.01**
4	1377	**1421**	1451	1439	1547	1455	1548	1439	**3.20**	5.37	4.50	12.35	5.66	12.42	4.50
5	1419	**1467**	1473	1502	1558	1502	1638	1515	**3.38**	3.81	5.85	9.80	5.85	15.43	6.77
6	1397	1445	1463	1453	1591	**1433**	1557	1473	3.44	4.72	4.01	13.89	**2.58**	11.45	5.44
7	1484	1529	**1525**	1562	1630	1526	1576	1550	3.03	**2.76**	5.26	9.84	2.83	6.20	4.45
8	1538	1609	1617	1609	1788	1610	1733	**1585**	4.62	5.14	4.62	16.25	4.68	12.68	**3.06**
9	1593	**1630**	1636	1647	1720	1647	1755	1644	**2.32**	2.70	3.39	7.97	3.39	10.17	3.20
10	1591	1653	1658	1653	1884	**1649**	1846	1683	3.90	4.21	3.90	18.42	**3.65**	16.03	5.78
OBYS									**3.18**	4.01	4.60	12.13	4.00	10.62	4.50
20x20															
1	2297	**2356**	2452	2410	2559	2397	2559	2397	**2.57**	6.75	4.92	11.41	4.35	11.41	4.35
2	2099	2150	**2146**	2150	2285	2150	2303	2160	2.43	**2.24**	2.43	8.86	2.43	9.72	2.91
3	2326	2384	2397	2411	2565	2411	2567	**2382**	2.49	3.05	3.65	10.28	3.65	10.36	**2.41**
4	2223	**2262**	2264	2262	2434	2290	2458	2281	**1.75**	1.84	1.75	9.49	3.01	10.57	2.61
5	2291	2353	**2350**	2397	2506	2384	2454	2397	2.71	**2.58**	4.63	9.38	4.06	7.11	4.63
6	2226	2284	2307	2349	2422	2349	2424	**2281**	2.61	3.64	5.53	8.81	5.53	8.89	**2.47**
7	2273	2362	**2310**	2362	2489	2360	2421	2348	3.92	**1.63**	3.92	9.50	3.83	6.51	3.30

Çizelge 4.1. Devam…

8	2200	**2242**	2266	2249	2362	2249	2343	2249	**1.91**	3.00	2.23	7.36	2.23	6.50	2.23
9	2237	2314	2330	2320	2414	2323	2450	**2299**	3.44	4.16	3.71	7.91	3.84	9.52	**2.77**
10	2178	2275	2271	2277	2469	2270	2331	**2235**	4.45	4.27	4.55	13.36	4.22	7.02	**2.62**
OBYS									**2.83**	3.32	3.73	9.64	3.71	8.76	3.03
Ort									**2.61**	3.19	3.88	10.45	3.52	9.04	3.33

Çizelge 4.2. Taillard 50- iş problemlerine ilişkin makespan ve BYS değerleri

Problem		Makespan							BYS						
Problem boyutu	Üst Sınır	HGKA	Bağ Kırma Yön.	NEH	CDS	CLWTS	GC	NEHAB1	HGKA	Bağ Kırma Yön.	NEH	CDS	CLWTS	GC	NEHAB1
50x5															
1	2724	**2729**	**2729**	2733	2816	**2729**	2800	2733	**0.18**	**0.18**	0.33	3.38	**0.18**	2.79	0.33
2	2834	**2843**	2882	**2843**	3032	2848	3015	2882	**0.32**	1.69	**0.32**	6.99	0.49	6.39	1.69
3	2621	**2622**	2645	2640	2703	2633	2702	2630	**0.04**	0.92	0.72	3.13	0.46	3.09	0.34
4	2751	2777	2766	2782	2884	**2762**	2845	2782	0.95	0.55	1.13	4.83	**0.4**	3.42	1.13
5	2863	**2864**	2873	2868	3038	2886	2960	**2868**	**0.03**	0.35	0.17	6.11	0.8	3.39	**0.17**
6	2829	2836	**2835**	2850	3031	2839	2995	2840	0.25	**0.21**	0.74	7.14	0.35	5.87	0.39
7	2725	2735	2763	2758	2969	**2732**	2893	2745	0.37	1.39	1.21	8.95	**0.26**	6.17	0.73
8	2683	2707	2700	2721	2835	**2688**	2747	2698	0.89	0.63	1.42	5.67	**0.19**	2.39	0.56
9	2552	**2561**	2568	2576	2784	2565	2625	2575	**0.35**	0.63	0.94	9.09	0.51	2.86	0.9
10	2782	**2782**	2797	2790	2942	2804	2909	2786	**0.00**	0.54	0.29	5.75	0.79	4.57	0.14
OBYS									**0.34**	0.71	0.73	6.1	0.44	4.09	0.64
50x10															
1	2991	**3135**	**3135**	**3135**	3421	3155	3468	3151	**4.81**	**4.81**	**4.81**	14.38	5.48	15.95	5.35
2	2867	**2993**	3003	3032	3246	3076	3174	3012	**4.39**	4.74	5.76	13.22	7.29	10.71	5.06
3	2839	**2986**	2999	**2986**	3280	3013	3180	2987	**5.18**	5.64	**5.18**	15.53	6.13	12.01	5.21
4	3063	3123	**3118**	3198	3393	3156	3353	3136	1.96	**1.8**	4.41	10.77	3.04	9.47	2.38
5	2976	**3088**	3114	3160	3375	3185	3356	3097	**3.76**	4.64	6.18	13.41	7.02	12.77	4.07
6	3006	3158	3149	3178	3400	**3127**	3309	3184	5.06	4.76	5.72	13.11	**4.03**	10.08	5.92
7	3093	**3177**	3289	3277	3520	3259	3441	3291	**2.72**	6.34	5.95	13.81	5.37	11.25	6.4
8	**3037**	**3109**	**3082**	**3123**	**3387**	**3147**	**3392**	**3196**	**2.37**	**1.48**	**2.83**	**11.52**	**3.62**	**11.69**	**5.24**

Çizelge 4.2. Devam…

9	2897	**2973**	3017	3002	3251	3047	3219	3062	**2.62**	4.14	3.62	12.22	5.18	11.11	5.7
10	3065	3233	**3187**	3257	3429	3204	3368	3229	5.48	**3.98**	6.26	11.88	4.54	9.89	5.35
ABYS									**3.84**	4.23	5.07	12.99	5.17	11.49	5.07
50x20															
1	3850	**4001**	4084	4082	4328	4069	4256	4078	**3.92**	6.08	6.03	12.42	5.69	10.55	5.92
2	3704	**3868**	3873	3921	4216	3958	4255	4009	**4.43**	4.56	5.86	13.82	6.86	14.88	8.23
3	3640	**3833**	3869	3927	4189	3882	4104	3882	**5.30**	6.29	7.88	15.08	6.65	12.75	6.65
4	3723	**3881**	3932	3969	4280	3998	4203	3936	**4.24**	5.61	6.61	14.96	7.39	12.89	5.72
5	3611	**3778**	3796	3835	4122	3834	4091	3879	**4.62**	5.12	6.2	14.15	6.18	13.29	7.42
6	3681	3914	3948	3914	4267	**3859**	4140	3901	6.33	7.25	6.33	15.92	**4.84**	12.47	5.98
7	3704	3906	3948	3952	4262	3931	4138	**3897**	5.45	6.59	6.7	15.06	6.13	11.72	**5.21**
8	3691	**3874**	3883	3938	4134	3925	4173	3925	**4.96**	5.2	6.69	12	6.34	13.06	6.34
9	3743	**3886**	3953	3952	4212	3949	4254	3922	**3.82**	5.61	5.58	12.53	5.5	13.65	4.78
10	3756	3987	**3943**	4079	4270	4012	4167	3991	6.15	**4.98**	8.6	13.68	6.82	10.94	6.26
OBYS									**4.92**	5.73	6.65	13.96	6.24	12.62	6.25
Ort									**3.03**	3.56	4.15	11.02	3 951	9.4	3.99

Çizelge 4.3. Taillard 100- iş problemlerine ilişkin makespan ve BYS değerleri

Problem			Makespan						BYS						
Problem boyutu	Üst Sınır	HGKA	Bağ Kırma Yön.	NEH	CDS	CLWTS	GC	NEHAB1	HGKA	Bağ Kırma Yön.	NEH	CDS	CLWTS	GC	NEHAB1
100x5															
1	5493	5495	**5493**	5519	5592	5501	5673	5519	0.04	**0**	0.47	1.8	0.15	3.28	0.47
2	5268	**5284**	**5284**	5348	5563	5289	5380	5348	**0.30**	**0.3**	1.52	5.6	0.4	2.13	1.52
3	5175	5214	**5199**	5219	5493	5216	5452	5219	0.75	**0.46**	0.85	6.14	0.79	5.35	0.85
4	5014	**5023**	5030	**5023**	5273	5023	5148	5023	**0.18**	0.32	**0.18**	5.17	0.18	2.67	0.18
5	5250	5261	**5255**	5266	5461	5256	5286	5266	0.21	**0.1**	0.3	4.02	0.11	0.69	0.3
6	5135	**5139**	**5139**	**5139**	5259	5139	5316	5141	**0.08**	**0.08**	**0.08**	2.41	0.08	3.52	0.12
7	5246	**5252**	5275	5259	5557	5284	5346	5259	**0.11**	0.55	0.25	5.93	0.72	1.91	0.25
8	5094	**5098**	5130	5120	5387	5123	5273	5108	**0.08**	0.71	0.51	5.75	0.57	3.51	0.27

Çizelge 4.3. Devam…

9	5448	5489	**5454**	5489	5758	5482	5694	5489	0.75	**0.11**	0.75	5.69	0.62	4.52	0.75
10	5322	5341	**5329**	5341	5723	5344	5413	5349	0.36	**0.13**	0.36	7.53	0.41	1.71	0.51
OBYS									0.29	**0.28**	0.53	5	0.403	2.93	0.52
100x10															
1	5770	**5806**	5885	5846	6209	5831	6153	5881	**0.62**	1.99	1.32	7.61	1.06	6.64	1.92
2	5349	5424	**5406**	5428	5894	5431	5745	5421	1.40	**1.07**	1.48	10.19	1.53	7.4	1.35
3	5676	5757	**5731**	5824	6024	5777	5945	5752	1.43	**0.97**	2.61	6.13	1.78	4.74	1.34
4	5781	**5848**	5937	5929	6377	6006	6262	5986	**1.16**	2.7	2.56	10.31	3.89	8.32	3.55
5	5467	**5559**	5580	5661	6018	5633	5915	5621	**1.68**	2.07	3.55	10.08	3.04	8.19	2.82
6	5303	**5333**	5390	5375	5744	5363	5745	5365	**0.57**	1.64	1.36	8.32	1.13	8.33	1.17
7	5595	**5662**	5686	5704	6201	5699	6229	5718	**1.20**	1.63	1.95	10.83	1.86	11.33	2.2
8	5617	5709	**5695**	5760	6234	5727	6194	5740	1.64	**1.39**	2.55	10.98	1.96	10.27	2.19
9	5871	5974	**5899**	5932	6231	5990	6281	6013	1.75	**0.48**	1.04	6.13	2.03	6.98	2.42
10	5845	5903	**5876**	5891	6360	5903	6117	5903	0.99	**0.53**	0.79	8.81	0.99	4.65	0.99
OBYS									**1.24**	1.45	1.92	8.94	1 927	7.69	2
100x20															
1	6202	**6517**	6546	6541	6920	6588	6957	6582	**5.08**	5.55	5.47	11.58	6.22	12.17	6.13
2	6183	**6479**	6555	6523	6977	6482	6853	6524	**4.79**	6.02	5.5	12.84	4.84	10.84	5.52
3	6271	6556	**6500**	6639	7229	6584	7102	6628	4.54	**3.65**	5.87	15.28	4.99	13.25	5.69
4	6269	**6492**	6600	6557	7062	6567	7027	6590	**3.56**	5.28	4.59	12.65	4.75	12.09	5.12
5	6314	6647	**6590**	6695	7113	6642	7057	6645	5.27	**4.37**	6.03	12.65	5.19	11.77	5.24
6	6364	**6643**	6664	6664	7283	6694	7143	6741	**4.38**	4.71	4.71	14.44	5.19	12.24	5.92
7	6268	6618	6606	6632	7147	6617	6972	**6567**	5.58	5.39	5.81	14.02	5.57	11.23	**4.77**
8	6404	6702	**6698**	6739	7235	6818	7184	6774	4.65	**4.59**	5.23	12.98	6.46	12.18	5.78
9	6275	**6554**	6555	6677	7196	6650	7017	6563	**4.45**	4.46	6.41	14.68	5.98	11.82	4.59
10	6434	**6620**	6650	6677	7164	6699	7013	6762	2.89	3.36	3.78	11.35	4.12	9	5.1
OBYS									**4.52**	4.74	5.34	13.25	5.331	11.66	5.39
Ort									**2.02**	2.16	2.6	9.06	25.537	7.43	2.64

Çizelge 4.4. Taillard 200- iş ve 500- iş problemlerine ilişkin makespan ve BYS değerleri

Problem			Makespan						BYS						
Problem boyutu	Üst Sınır	HGKA	Bağ Kırma Yön.	NEH	CDS	CLWTS	GC	NEHAB1	HGKA	Bağ Kırma Yön.	NEH	CDS	CLWTS	GC	NEHAB1
200x10															
1	10 862	11 066	10 949	10 942	11 609	**10 942**	11 258	10 942	1.88	0.8	0.74	6.88	**0.74**	3.65	0.74
2	10 480	11 041	**10 681**	10 716	11 357	10 741	11 093	10 735	5.35	**1.92**	2.25	8.37	2.49	5.85	2.43
3	10 922	11 318	11 038	**11 025**	11 669	11 027	11 412	11 028	3.63	1.06	**0.94**	6.84	0.96	4.49	0.97
4	10 889	11 057	11 051	11 057	11 379	**11 050**	11 210	11 057	1.54	1.49	1.54	4.5	**1.48**	2.95	1.54
5	10 524	10 853	10 647	10 645	11 352	**10 597**	11 107	10 623	3.13	1.17	1.15	7.87	**0.69**	5.54	0.94
6	10 329	10 581	**10 413**	10 458	11 318	10 467	11 128	10 458	2.44	**0.81**	1.25	9.57	1.34	7.74	1.25
7	10 854	11 126	**10 930**	10 989	11 608	10 962	11 380	10 991	2.51	**0.7**	1.24	6.95	1	4.85	1.26
8	10 730	10 965	**10 811**	10 829	11 501	10 817	11 310	10 856	2.19	**0.75**	0.92	7.19	0.81	5.41	1.17
9	10 438	10 873	**10 523**	10 574	11 252	10 558	11 171	10 625	4.17	**0.81**	1.3	7.8	1.15	7.02	1.79
10	10 675	11 109	10 831	10 807	11 509	**10 790**	11 315	10 870	4.07	1.46	1.24	7.81	**1.08**	6	1.83
OBYS									3.09	**1.1**	1.26	7.38	1 174	5.35	1.39
200x20															
1	11 195	12 008	**11 523**	11 594	12 432	11 530	12 587	11 663	7.26	**2.93**	3.56	11.05	2.99	12.43	4.18
2	11 203	12 204	11 736	11 675	12 542	**11 648**	12 400	11 798	8.94	4.76	4.21	11.95	**3.97**	10.68	5.31
3	11 281	12 142	**11 763**	11 852	12 783	11 788	12 513	11 858	7.63	**4.27**	5.06	13.31	4.49	10.92	5.11
4	11 275	12 058	11 699	11 803	12 631	**11 695**	12 477	11 729	6.94	3.76	4.68	12.03	**3.73**	10.66	4.03
5	11 259	12 117	11 723	11 685	12 538	**11 668**	12 292	11 691	7.62	4.12	3.78	11.36	**3.63**	9.17	3.84
6	11 176	12 080	**11 593**	11 629	12 498	11 676	12 316	11 679	8.09	**3.73**	4.05	11.83	4.47	10.2	4.5
7	11 360	12.126	12 006	12 103	12 751	11 809	12 293	**11 803**	6.74	5.69	6.54	12.24	3.95	8.21	**3.9**
8	11 334	12 146	**11 733**	11 913	12 610	11 753	12 409	11 797	7.16	**3.52**	5.11	11.26	3.7	9.48	4.09
9	11 192	12 189	11 660	11 673	12 639	11 678	12 350	**11 646**	8.91	4.18	4.3	12.93	4.34	10.35	**4.06**
10	11 288	12 174	**11 710**	11 869	12 949	11 838	12 789	11 820	7.85	**3.74**	5.15	14.71	4.87	13.3	4.71
OBYS									7.71	4.07	4.64	12.27	**4.01**	10.54	4.37
Ort									5.40	**2.59**	2.95	9.83	**2.59**	7.95	2.88
500x20															
1	26 059	28 008	**26 543**	26 670	28 246	26 659	27 881	26 703	7.48	**1.86**	2.34	8.39	2.3	6.99	2.47
2	26 520	28 913	**27 105**	27 232	29 131	27 145	28 542	27 238	9.02	**2.21**	2.68	9.85	2.36	7.62	2.71
3	26 371	28 511	26 876	26 848	28 618	**26 835**	28 141	26 917	8.11	1.91	1.81	8.52	**1.76**	6.71	2.07
4	26 456	28 626	**26 919**	27 055	29 029	26 935	28 346	26 993	8.20	**1.75**	2.26	9.73	1.81	7.14	2.03

Çizelge 4.4. Devam…

5	26 334	28 339	**26 793**	26 727	28 234	26 890	27 715	26 784	7.61	1.74	**1.49**	7.22	2.11	5.24	1.71
6	26 477	28 850	27 015	26 992	28 687	26 990	28 127	**26 941**	8.96	2.03	1.95	8.35	1.94	6.23	**1.75**
7	26 389	28 229	26 844	26 797	28 322	**26 726**	27 956	26 746	6.97	1.72	1.55	7.33	**1.28**	5.94	1.35
8	26 560	28 887	**27 120**	27 138	28 897	27 165	28 271	27 237	8.76	**2.11**	2.18	8.8	2.28	6.44	2.55
9	26 005	28 273	**26 507**	26 631	28 294	26 555	27 816	26 618	8.72	**1.93**	2.41	8.8	2.11	6.96	2.36
10	26 457	28 315	26 955	26 984	27 710	**26 877**	28 348	26 955	7.02	1.88	1.99	4.74	**1.59**	7.15	1.88
OBYS									8.09	**1.91**	2.07	8.17	1.95	6.64	2.09
Genel Ort									3.49	**2.82**	3.32	9.95	3.1	8.35	3.14

Çizelge 4.1. incelendiği zaman HGKA ile elde edilen çözümlerde ortalama bağıl yüzde sapma (OBYS) oranı 20x5 boyutlu problem setinde 1.81, 20x10 boyutlu problem setinde 3.18 ve 20x20 problem setinde 2.61 çıkmıştır ve bu oranlar diğer yöntemler arasındaki en düşük sapma miktarıdır. Çizelgedeki 30 problemin 12' sinde diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç bulunmuştur.

Çizelge 4.2. incelendiği zaman HGKA ile elde edilen çözümlerde OBYS oranı 50x5 boyutlu problem setinde 0.34, 50x10 boyutlu problem setinde 3.84 ve 50x20 boyutlu problem setinde 4.92 çıkmıştır ve bu oranlar diğer yöntemler arasındaki en düşük sapma miktarıdır. Çizelgedeki 30 problemin 19' unda diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç elde edilmiştir.

Çizelge 4.3. incelendiği zaman HGKA ile elde edilen çözümlerde OBYS oranı 100x5 boyutlu problem setinde 0.29 çıkmıştır ve diğer yöntemler arasında en düşük sapmayı veren 2.yöntem olmuştur. Bu oran 100x10 boyutlu problem setinde 1.24 ve 100x20 boyutlu problem setinde 4.52 çıkarak diğer yöntemler arasında en düşük sapmayı vermiştir. Ayrıca 100 işten oluşan problem setlerindeki OBYS miktarının ortalamasına da bakıldığı zaman en düşük sapmanın 2.02 değeri ile HGKA yöntemine ait olduğu görülmektedir. Çizelgedeki 30 problemin 15' inde diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç bulunmuştur.

Çizelge 4.4. incelendiği zaman HGKA ile elde edilen çözümlerde OBYS oranı 200x10 boyutlu problem setinde 3.09, 200x20 boyutlu problem setinde 7.71 ve 500x20 boyutlu problem setinde 8.09 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar diğer yöntemlere göre daha iyi sonuç değildir fakat iyi sonuçlardır.

Özetle HGKA yöntemi Taillard' ın 120 problemi üzerinde makespan amaçlanarak test edildiği zaman ilk 90 problemde diğer yöntemlere göre başarılı sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir. Son 30 problemde ise sapma miktarı biraz artmıştır. Taillard' ın 120 problemi üzerinden elde edilen sonuçlar incelendiği zaman HGKA yönteminin literatürdeki diğer yöntemlerle rekabet edebilir düzeyde bir algoritma olduğu görülmektedir. HGKA yönteminin küçük ve orta büyüklükteki problemlerde optimal veya optimale çok yakın sonuç bulmuş olması bu yöntemin avantajıdır.

Bu çalışmada ele alınan problem hem makespan hem de toplam gecikmeyi minimize edecek şekilde 2 ölçütlü olduğu için HGKA yöntemi aynı şekilde 2 ölçütlü Taillard problemleri üzerinde de test edilmiştir. Taillard problem setine ait ilk 30 problemin teslim tarihleri de alınarak (Yüksel, 2019) hem 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle hem de HGKA yöntemi ile çözülerek karşılaştırılmıştır. Problemler HGKA ile MATLAB üzerinde 1 kez çözdürülmüştür. Problemin amaç fonksiyonundaki 2 ölçüt eşit önemde varsayılarak katsayıları aynı kabul edilmiştir. Çizelge 4.5' te elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 4.5. Taillard 5- iş problemlerine ilişkin amaç fonksiyonu, makespan (Cmax) ve toplam gecikme değerleri

Problem	0-1 Tamsayılı Programlama Yöntemi			HGKA Yöntemi			BYS
	Amaç Fonksiyonu	Cmax	Toplam Gecikme	Amaç Fonksiyonu	Cmax	Toplam Gecikme	
5x5-01	1 215	566	649	1 215	566	649	0
5x5-02	1 113	559	554	1 113	559	554	0
5x5-03	1 634	486	1 148	1 634	486	1 148	0
5x5-04	1 325	553	772	1 325	553	772	0
5x5-05	1 174	596	578	1 174	596	578	0
5x5-06	1 793	495	1 298	1 793	495	1 298	0
5x5-07	1 072	476	596	1 072	476	596	0
5x5-08	1 790	459	1 331	1 790	459	1 331	0
5x5-09	1 357	536	821	1 357	536	821	0
5x5-10	1 714	526	1 188	1 714	526	1 188	0
5x10-01	966	924	42	966	924	42	0
5x10-02	951	945	6	951	945	6	0
5x10-03	889	759	130	889	759	130	0
5x10-04	758	678	80	758	678	80	0
5x10-05	891	891	0	891	891	0	0
5x10-06	1 005	681	324	1 005	681	324	0
5x10-07	830	830	0	830	830	0	0
5x10-08	736	736	0	736	736	0	0
5x10-09	1 247	854	393	1 247	854	393	0
5x10-10	1 500	978	522	1 500	978	522	0
5x20-01	1 598	1 539	59	1 598	1 539	59	0
5x20-02	1 524	1 516	8	1 524	1 516	8	0
5x20-03	1 441	1 441	0	1 441	1 441	0	0
5x20-04	1 357	1 357	0	1 357	1 357	0	0
5x20-05	2 152	1 484	668	2 152	1 484	668	0
5x20-06	1 476	1 205	271	1 476	1 205	271	0
5x20-07	1 547	1 489	58	1 547	1 489	58	0
5x20-08	1 458	1 360	98	1 458	1 360	98	0
5x20-09	1 559	1 559	0	1 559	1 559	0	0
5x20-10	1 314	1 314	0	1 314	1 314	0	0

Çizelge 4.5 incelendiği zaman 30 problemde de matematiksel modelle bulunan optimal çözümlerin HGKA yöntemiyle de bulunduğu görülmektedir. BYS oranına bakıldığı zaman tüm problemlerde sapmanın 0 olarak bulunduğu yani sapma olmadığı gözlenmektedir. Bu sonuçlara göre HGKA yöntemi küçük boyutlu problemlerde matematiksel model gibi optimal sonuçlara ulaşabilmektedir.

HGKA yöntemiyle Taillard problem setleri üzerinde elde edilen sonuçlara bakıldığı zaman, bu yöntemin literatürdeki diğer yöntemlerle rekabet edebilecek düzeyde bir yöntem olduğu belirlenmiştir ve çalışmanın devamında fabrikadan alınan gerçek hayat probleminin çözümü yapılmıştır. Problemde ele alınan işlerin tüm makinelerdeki işlem süreleri bilirkişi yardımıyla belirlenmiştir. İşlerin makinelerdeki işlem süreleri ve teslim zamanına ilişkin veriler Ek 1'de verilmiştir.

Öncelikle 20 iş olarak ele alınan problem 10'ar 10' ar artırılarak gittikçe büyütülmüştür ve sırasıyla 30, 40 ve 50 iş olarak da çözülmüştür. Amaç fonksiyonu olarak hem makespan hem de toplam gecikme zamanını minimize etmek üzere iki ölçüt hedeflenmiştir ve her iki ölçüt eşit önemde değerlendirilerek katsayıları aynı kabul edilmiştir. Problemler hem 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle hem de HGKA yöntemiyle çözülmüştür. Matematiksel modelle 20 ve 30 işlik problemlerde kısa sürede optimal çözüm bulunmuştur fakat 40 ve 50 işlik problemlerde kısa sürede optimal çözüm bulunamayınca çözüm süresi giderek artırılmıştır.

Problemin çözüm sonuçlarından önce fabrikada uygulanan üretim sırasına göre elde edilen sonuç Çizelge 4.6' da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Problemin fabrikadaki uygulama sonuçları

Problem	Amaç Fonksiyonu	C max	Toplam Gecikme	İş Sıralaması	Geciken İşler
20x28	38 714	19 367	19 347	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20	1, 3, 7, 12, 15, 18
30x28	52 301	26 420	25 881	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30	1, 3, 7, 12, 15, 18, 27
40x28	141 589	32 832	108 757	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-21-22-23-24-25-26-27-28-29-31-32-33-34-35-36-37-38-39-40	1, 3, 7, 12, 15, 18, 27, 31, 32, 34, 35, 36, 38, 39, 40
50x28	197 533	39 643	157 890	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-21-22-23-24-25-26-27-28-29-31-32-33-34-35-36-37-38-39-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50	1, 3, 7, 12, 15, 18, 27, 31, 32, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 42, 43, 49

Çizelge 4.6 incelendiği zaman 20 işlik problemde 6 işin, 30 işlik problemde 7 işin, 40 işlik problemde 15 işin ve 50 işlik problemde 18 işin gecikmeli olarak teslim edildiği görülmektedir. İşlerin maksimum tamamlanma zamanı da oldukça yüksek çıkmıştır.

Problemler önce 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle çözülmüştür. Çizelge 4.7' de 20 ve 30 işlik problemler için matematiksel modelle elde edilen optimal sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 4.7. 20 ve 30 iş için 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle elde edilen sonuçlar

Problem	İşlem Süresi	Amaç Fonksiyonu	C max	Toplam Gecikme	İş Sıralaması	Geciken İşler
20x28	**39 sn**	**27 830**	18 761	9 069	12-1-3-7-4-8-10-5-15-2-14-18-6-17-13-16-9-19-11-20	1, 3, 7, 12
30x28	**25 sn**	**34 796**	25 727	9 069	12-1-3-7-6-4-13-10-15-8-2-14-5-16-18-19-27-9-17-20-21-29-26-25-23-24-30-11-22-28	1, 3, 7, 12

Çizelge 4.7 incelendiği zaman 20 ve 30 işlik problemlerde çok kısa sürede optimal sonuca ulaşıldığı görülmektedir. 20 işlik problemde optimal sonuç 27 830 olarak bulunmuştur ve bunun 18 761' i Cmax, 9 069' u toplam gecikme değeridir. 30 işlik problemde ise optimal sonuç 34 796 olarak bulunmuştur ve bunun 25 727' si Cmax, 9 069'u ise toplam gecikme değeridir. Her 2 problemde de toplam 4 işin tesliminde gecikme yaşanmıştır.

40 ve 50 işlik problemlerde kısa sürede optimal sonuç bulunamayınca süre kısıtı eklenerek çözüm süresi giderek artırılmıştır. Her 2 problem de sırasıyla 300 sn, 600 sn, 1 800 sn ve 3 600 sn süre kısıtı altında çözülmüştür. Çizelge 4.8' de 40 işlik problem için 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 4.8. 40 iş için 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle elde edilen sonuçlar

Çözüm Süresi	Amaç Fonk-siyonu	Cmax	Toplam Gecikme	İş sıralaması	Geciken İşler
300 sn	57 856	31 922	25 934	27-1-3-7-12-8-4-10-5-32-15-2-6-38-13-14-34-16-18-9-17-39-21-19-31-20-35-36-40-11-29-37-26-25-22-30-28-24-23-33	1, 3, 7, 9, 11, 12, 17, 19, 20, 21, 31, 34, 35, 36, 39
600 sn	57 856	31 922	25 934	27-1-3-7-12-8-4-10-5-32-15-2-6-38-13-14-34-16-18-9-17-39-21-19-31-20-35-36-40-11-29-37-26-25-22-30-28-24-23-33	1, 3, 7, 9, 11, 12, 17, 19, 20, 21, 31, 34, 35, 36, 39
1 800 sn	**57 839**	31 922	25 917	27-1-3-7-12-8-4-10-5-32-15-2-6-14-34-38-14-13-16-18-9-17-39-21-19-31-20-35-36-40-11-29-37-26-25-22-30-24-33-23-28	1, 3, 7, 9, 11, 12, 17, 19, 20, 21, 31, 35, 36, 39
3 600 sn	**57 839**	31 922	25 917	27-1-3-7-12-8-4-10-5-32-15-2-6-34-14-38-13-16-18-9-19-17-39-31-20-35-21-36-40-11-29-37-26-25-22-30-24-28-23-33	1, 3, 7, 9, 11, 12, 17, 19, 20, 21, 31, 35, 36, 39

Çizelge 4.8' e bakıldığında çözüm süresi kısıtı altında matematiksel modelle 1 800 sn' de ve 3 600 sn' de elde edilen çözüm aynı bulunmuştur ve bu sürede bulunan en iyi sonuca göre amaç fonksiyonu değeri 57 839 olarak bulunmuştur. Cmax değeri 31 922, toplam gecikme miktarı ise 25 917' dir. Toplam 14 işte gecikme yaşanmıştır.

Çizelge 4.9' da 50 iş için 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 4.9. 50 iş için 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle elde edilen sonuçlar

Çözüm Süresi	Amaç Fonk-siyonu	Cmax	Toplam Gecikme	İş sıralaması	Geciken İşler
300 sn	82 964	38 107	44 857	27-12-7-1-3-10-32-2-5-4-8-15-14-6-13-34-38-16-18-9-43-39-21-20-35-17-31-19-49-42-40-11-36-29-48-26-44-37-50-25-44-46-22-28-47-23-24-30-33-45	1, 3, 9, 11, 12, 17, 19, 20, 21, 31, 35, 36, 38, 39, 40, 42, 43, 49
600 sn	82 916	38 107	44 809	27-12-3-7-1-10-32-4-5-8-15-2-14-6-13-34-38-16-18-9-43-39-21-20-35-17-31-49-19-42-40-11-36-29-48-26-44-37-50-25-41-46-22-28-47-23-24-30-33-45	1, 3, 7, 9, 11, 12, 17, 19, 20, 21, 31, 35, 36, 38, 39, 40, 42, 43, 49
1 800 sn	82 752	38 107	44 645	27-1-3-7-12-10-32-8-4-5-15-2-14-6-34-38-16-13-18-9-19-17-31-20-39-43-42-35-49-21-40-11-36-29-37-50-48-44-26-25-46-22-23-41-30-24-47-45-28-33	1, 3, 7, 9, 11, 12, 17, 19, 20, 21, 31, 35, 39, 40, 42, 43, 49
3 600 sn	**82 373**	38 107	44 266	27-1-3-7-12-8-32-10-4-15-5-2-14-6-38-3413-16-18-9-19-31-17-39-21-42-43-20-35-49-11-40-36-29-26-48-44-37-50-25-28-33-23-30-41-46-47-24-22-45	1, 3, 7, 9, 12, 17, 19, 20, 21, 31, 35, 36, 39, 40, 42, 43, 49

Çizelge 4.9 incelendiği zaman 50 iş için 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle süre kısıtı altında çözüm yapıldığı zaman 3 600 sn' de bulunan en iyi sonucun 82 373 olduğu görümektedir. Cmax değeri 38 107, toplam gecikme miktarı ise 44 266'dır ve toplam 17 işin tesliminde gecikme yaşanmıştır.

Çalışmanın devamında problem HGKA yöntemiyle çözülmüştür. Her problem 10 kez çözdürülmüştür ve elde edilen en iyi sonuçlar Çizelge 4.10' da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Problemin HGKA yöntemiyle elde edilen çözüm sonuçları

Problem	İşlem Süresi	Amaç Fonk-siyonu	Cmax	Toplam Gecikme	İş Sıralaması	Geciken İşler
20x28	**9.2 sn**	**27 830**	18 761	9 069	12-1-3-7-4-5-10-8-15-2-14-13-20-6-18-16-17-9-19-11	1, 3, 7, 12
30x28	**12.3 sn**	**34 796**	25 727	9 069	12-1-3-7-8-4-15-2-10-5-6-27-14-13-16-9-18-21-17-19-20-29-26-25-23-24-11-22-30-28	1, 3, 7, 12
40x28	**17.0 sn**	**57 839**	31 922	25 917	27-12-1-3-7-32-15-4-10-5-8-2-14-34-6-38-16-18-13-9-17-31-20-35-21-19-39-36-40-11-29-37-26-25-30-23-22-33-24-28	1, 3, 7, 9, 11, 12, 17, 19, 20, 21, 31, 35, 36, 39
50x28	**21.7 sn**	**82 373**	38 107	44 266	27-12-1-3-7-10-15-5-32-8-4-2-38-6-34-14-18-16-13-9-17-39-43-19-42-21-31-20-35-49-11-40-36-37-29-48-50-44-26-25-24-28-30-33-46-45-23-41-22-47	1, 3, 7, 9, 12, 17, 19, 20, 21, 31, 35, 36, 39, 40, 42, 43, 49

Çizelge 4.10’ da görüldüğü gibi HGKA yöntemiyle elde edilen sonuçlar 0-1 tamsayılı programlama yöntemine göre oldukça kısa sürede bulunmuştur. 20 ve 30 işlik problemlerde 4 işin, 40 işlik problemde 14 işin, 50 işlik problemde ise 17 işin gecikmeli olarak teslim edildiği görülmektedir.

Problemin hem 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle hem de HGKA yöntemiyle çözülerek elde edilen sonuçlarını gerçek hayat sonucuyla karşılaştırabilmek için Çizelge 4.11’ de sonuçların özet hali verilmiştir. Çözüm sonuçları karşılaştırılırken 20 ve 30 işlik problemlerde matematiksel modelin bulduğu optimal sonuç verilirken 40 ve 50 işlik problemlerde 3600 sn içinde bulabildiği en iyi sonuç verilmiştir.

Çizelge 4.11. Probleme ilişkin amaç fonksiyonu, makespan (Cmax) ve toplam gecikme değerleri

Problem	İşletmedeki Sonucu			0-1 Tamsayılı Programlama Yöntemi			HGKA Yöntemi		
	Amaç Fonksiyonu	Cmax	Toplam Gecikme	Amaç Fonksiyonu	Cmax	Toplam Gecikme	Amaç Fonksiyonu	Cmax	Toplam Gecikme
20x28	38 714	19 367	19 347	27 830	18 761	9 069	27 830	18 761	9 069
30x28	52 301	26 420	25 881	34 796	25 727	9 069	34 796	25 727	9 069
40x28	141 589	32 832	108 757	57 839	31 922	25 917	57 839	31 922	25 917
50x28	197 533	39 643	157 890	82 373	38 107	44 266	82 373	38 107	44 266

Çizelge 4.11 incelendiği zaman hem 0-1 tamsayılı programlama yönteminin hem de HGKA yönteminin işletmedeki sonucuna göre çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. İlk 2 problemde (20 iş ve 30 iş) her 2 yöntemle de optimal sonuçlar elde edilmiştir. Son 2 problemde (40 iş ve 50 iş) ise 0-1 tamsayılı programlama yönteminin 3 600 sn' de bulabildiği en iyi çözümler verilirken HGKA yönteminin de 10 kez tekrarı sonucunda bulabildiği en iyi çözümler verilmiştir. İşletmede uygulanan duruma göre yapılan çalışmalar sonucundaki iyileştirme miktarı aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.12. Kullanılan çözüm yöntemleriyle elde edilen sonuçların işletmede uygulanana göre iyileştirme oranı

Problem	**0-1 Tamsayılı Programlama Yöntemi**	**HGKA Yöntemi**
	İyileştirme Oranı	İyileştirme Oranı
20x28	28.1%	28.1%
30x28	33.5%	33.5%
40x28	59.2%	59.2%
50x28	58.3%	58.3%

Çizelge 4.12' de görüldüğü gibi her iki yöntemle de elde edilen sonuçlar, işletmedeki sonucuna göre yüksek oranda iyileştirme sağlamıştır. Her iki yöntemle de elde edilen sonuçlara göre 1. problemde %28.1 oranında, 2. problemde %33.5 oranında, 3. problemde %59.2 oranında ve 4. problemde ise %58.2 oranında iyileştirme sağlamıştır. 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle 3 600 sn içerisinde bulunan en iyi sonuçlarla HGKA yöntemiyle bulunan sonuçların aynı olduğu ve aynı oranda iyileştirme yaptığı görüldükten sonra problemin amaç fonksiyonundaki her iki ölçütün de detaylı iyileştirme yüzdesine bakılmıştır. İşletmede uygulanan durumla yapılan çalışma sonucunda elde edilen makespan ve toplam gecikme miktarlarındaki iyileştirme oranı Çizelge 4.13' te verilmiştir.

Çizelge 4.13. Elde edilen sonuçlara göre makespan (Cmax) ve toplam gecikme miktarlarındaki iyileştirme oranı

Problem	**Cmax**	**Toplam Gecikme**
	İyileştirme Oranı	İyileştirme Oranı
20x28	3.1%	53.1%
30x28	2.6%	65.0%
40x28	2.8%	76.2%
50x28	3.9%	72.0%

Çizelge 4.13 incelendiği zaman elde edilen sonuçlara göre maksimum tamamlanma zamanında 1. problemde %3.1 oranında, 2. problemde %2.6 oranında, 3. problemde %2.8 oranında ve 4. problemde %3.9 oranında iyileştirme sağlanmıştır. Maksimum tamamlanma zamanındaki iyileştirmeler bir yandan ürünlerin daha kısa sürede üretiminin tamamlanmasını sağlarken bir yandan da mevcut kaynakları daha verimli kullanarak yeni ve daha çok sipariş alabilmeyi sağlamaktadır. Toplam gecikme miktarlarına bakıldığı zaman 1. problemde %53.1 oranında, 2. problemde %65.0 oranında, 3. problemde %76.2 oranında ve 4. problemde %72.0 oranında iyileştirme sağlanmıştır. Özellikle toplam gecikme miktarlarındaki yüksek oranda yapılan iyileştirmeler siparişlerin müşterilere zamanında teslimatı ve dolayısıyla müşteri memnuniyetinin artırılması açısından işletme için oldukça önemlidir.

Her iki yöntemin etkinliğini değerlendirebilmek için problemlerin çözüm sürelerine de bakılmıştır. İlk 2 problem setinde matematiksel model kısa sürede optimal sonucu vermiştir ancak HGKA matematiksel modele göre daha kısa sürede optimal çözüme ulaşmıştır. Problem boyutunun büyümesiyle birlikte son 2 problem setinde matematiksel model için maksimum 3 600 sn kısıtı eklenmiştir ve bu sürede ulaşabildiği en iyi sonuçlara HGKA daha kısa sürede ulaşmıştır. Çizelge 4.14' te problemlerin çözüm sürelerine ait detaylı bilgiler verilmiştir.

Çizelge 4.14. Elde edilen sonuçlara göre işlem süreleri

Problem	**0-1 Tams. Prog. Yöntemi**	**HGKA Yöntemi**
	İşlem Süresi (sn)	İşlem Süresi (sn)
20x28	39	9.2
30x28	25	12.3
40x28	1 800	17.0
50x28	3 600	21.7

Çizelge 4.14 incelendiği zaman tüm problemlerde HGKA yönteminin çok kısa bir sürede iyi çözümler verebildiği görülmektedir. 0-1 tamsayılı programlama yöntemi ise ilk 2 problemde HGKA yöntemiyle bulunan çözüm süresine yakın bir sürede optimal sonucu bulurken son 2 problemde çözüm süresi oldukça uzamıştır ve 40 işlik problemde HGKA yöntemiyle aynı sonucu 1 800 sn içerisinde, 50 işlik problemde ise 3 600 sn içerisinde bulmuştur.

Tüm sonuçlara ve çözüm sürelerine bakıldığı zaman küçük boyutlu problemlerde hem matematiksel modelle hem de HGKA yöntemiyle çok kısa sürelerde optimal sonuçların elde edildiği görülmektedir. Problem boyutunun büyümesiyle birlikte büyük boyutlu problemlerde ise matematiksel modelle kısa sürede optimal sonucu bulmak zorlaşmaktadır ve çözüm süresi artmaktadır. HGKA yöntemi ise büyük boyuttaki problemlerde de çok kısa sürede iyi sonuçlar bulabilmektedir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada hem maksimum tamamlanma zamanı hem de toplam gecikme zamanı olmak üzere iki ölçütlü bir ATÇP ele alınmıştır. Amaç fonksiyonundaki iki ölçüt eşit düzeyde ağırlıklandırılmıştır. Problemler hem 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle hem de geliştirilen HGKA ile çözülmüştür. Literatürdeki bilinen çalışmalar arasında ATÇP için GKA yöntemi ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır. Geliştirilen GKA yöntemi literatürdeki bazı problemler üzerinde test edilmiştir ve elde edilen çözümlere göre bu yöntemin diğer yöntemlerle rekabet edebilir düzeyde bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışmada çözümü yapılan problem Türkiye' deki en büyük ayakkabı fabrikalarından birinde yapılmıştır. Fabrikada, 1 500' den fazla kişi istihdam etmektedir ve yılda 50 milyon çiftten fazla satış yapılmaktadır. Literatüre bakıldığı zaman ATÇP ile ilgili yapılan çalışmalar arasında bilindiği kadarıyla ilk kez bu çalışmada bir ayakkabı fabrikasındaki problem ele alınmıştır. Fabrikada sipariş miktarlarının çok yüksek olduğu dönemlerde siparişlerin teslimleriyle ilgili gecikmeler yaşanabilmektedir. Bu durum beraberinde müşteri memnuniyetsizliğini, müşteri güven kaybını ve yeni sipariş fırsatını kaçırma gibi problemler getirmektedir. Fabrika bu kayıpları yaşamamak için alternatif olarak fazla mesai uygulayabilmektedir ancak bu da maliyetlerin yükselmesine sebebiyet vermektedir. Fabrikanın depolama alanı yeterli büyüklükte olduğu için üretimi yapılacak modellerin malzemelerinin istiflenmesi açısından sıkıntı yaşamayacağı için uzun vadeli üretim planı yapabilecek durumdadır. Bu yüzden hem eldeki makine ve kaynakları en etkin ve en verimli şekilde kullanabilmek hem de ürünlerin teslim zamanlarıyla ilgili gecikmelerin önüne geçebilmek için fabrikadaki problem hem maksimum tamamlanma zamanını hem de toplam gecikme zamanını minimize etmeye yönelik iki ölçütlü olarak ele alınmıştır. Problemin ele alındığı bölümde 53 çalışan ve 28 farklı işlem bulunmaktadır ve her model üretimi yapılırken aynı işlem sırasını takip etmektedir. Üretimi yapılacak olan 50 model iş olarak, 28 işlem de makine olarak değerlendirilmiştir ve toplamda 50 iş 28 makineden oluşan bir ATÇP elde edilmiştir.

Öncelikle 20 iş şeklinde küçük boyutlu problem olarak başlanan çözümlere iş sayısı artırılarak devam edilmiştir ve 30 iş, 40 iş ve 50 iş olarak da çözüm yapılmıştır. 2 farklı yöntemle çözülen problemlerin sonuçları incelendiği zaman 20 ve 30 işlik problemlerde hem 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle hem de HGKA yöntemiyle kısa zamanda optimal çözümün bulunduğu görülmüştür. 40 ve 50 işlik problemlerde problem boyutunun büyük olması nedeniyle 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle kısa sürede optimal çözüm elde edilememiştir ve sırasıyla 300 sn, 600 sn, 1 800 sn ve 3 600 sn kısıtları eklenerek 4 farklı süre içinde elde edilen çözümlere bakılmıştır. 40 ve 50 işlik problem sonuçları her 2 yöntem arasında karşılaştırıldığı zaman 40 işlik problemde HGKA yöntemiyle elde edilen sonuç 0-1 tamsayılı programlama yöntemiyle 1 800 sn içerisinde bulunurken, 50 işlik problemde ise 3 600 sn içerisinde bulunmuştur. Geliştirilen HGKA yöntemi büyük boyuttaki problemlerde de kısa sürede çok iyi çözümler vermiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığı zaman HGKA yönteminin küçük boyuttaki problemlerde matematiksel model gibi optimal sonuca ulaştığı, büyük boyuttaki problemlerde ise kısa sürede çok iyi çözüme ulaştığı görülmektedir. Çalışmanın sonunda her iki yöntemle elde edilen çözümler işletme verileri ile karşılaştırılmıştır. 0-1 tamsayılı programlama yönteminin maksimum 3 600 sn kısıtı ile bulabildiği en iyi çözümler ve HGKA yönteminin de 10 kez tekrarlanması sonucunda bulabildiği en iyi çözümler işletme verileri ile karşılaştırıldığı zaman her iki yöntemle de elde edilen sonuçların 20 iş 28 makine için %28.1 oranında, 30 iş 28 makine için %33.5 oranında, 40 iş 28 makine için %59.2 oranında ve 50 iş 28 makine için %58.3 oranında iyileştirme sağladığı görülmüştür. Bu sonuçların detayına inildiği zaman hem işlerin maksimum tamamlanma süresinin hem de toplam gecikme miktarının yüksek oranda düştüğü gözlenir. Elde edilen sonuçlara göre 50 işlik problemde maksimum tamamlanma zamanı ölçütünde %3.9 oranında iyileştirme sağlanırken toplam gecikme miktarı ölçütünde %72.0 oranında ciddi bir iyileştirmenin sağlandığı görülmektedir. İşlerin tamamlanma süresinin düşmesi, mevcut kaynakları daha verimli kullanarak daha erken sürede yeni siparişler alabilmek açısından fabrika için büyük katkı sağlayabilmektedir. Siparişlerin gecikme sürelerindeki azalma da hem fazla mesainin önüne geçmek hem de daha çok sipariş alabilmek açısından fabrikaya ciddi miktarda kâr sağlayabilmektedir. Ayrıca gecikme sürelerindeki azalma beraberinde müşteri memnuniyetini ve güvenini getirecektir.

Son yıllarda özellikle imalat sanayiide rekabet gücünün ve verimliliğin geliştirilmesi açısından birçok çalışma yapılmaktadır. On birinci kalkınma planındaki hedeflerden biri de bunun üzerinedir. Üretim ve verimlilikteki artış Türkiye' nin uluslararası rekabet edebilirliğinin artırılmasına ve kalkınmanın sağlanmasına yardımcı olacaktır. Bu çalışmada ele alınan problem de bir imalat fabrikasındaki problemlerden biri olması açısından ve fabrikanın üretim ve verimliliğini artırma hedefli olmasından ötürü on birinci kalkınma planını destekleyebilecek bir çalışmadır. Günümüzde akış tipi üretim yapan ve siparişe göre üretim gerçekleştiren tüm fabrikalarda bu çalışma yapılabilir.

Gelecekte yapılması planlanan çalışmalar için gerçek hayatta problemlerin genellikle büyük boyutta olduğu düşünülürse, düşük maliyette kısa sürede iyi bir çözüme ulaşmak açısından metasezgisel yöntemlerin ne kadar önemli olduğu görülmüş olur. Bu çalışmada kullanılan HGKA yöntemi küçük boyuttaki problemlerde kısa sürede optimal çözüme ulaşmıştır. Büyük boyuttaki problemlerde de kısa sürede çok iyi sonuçlara ulaşmıştır. Çok büyük problem setlerinde (200 iş- 500 iş gibi) ise kötü sonuç vermese de literatürdeki bazı metasezgisel yöntemler kadar iyi sonuç verememiştir. İlerleyen zamanlarda HGKA yönteminin çok büyük boyuttaki problemler için de kısa sürede daha iyi sonuçlar vermesi üzerine geliştirmeler yapılabilir. Bu çalışmada ele alınan problemde iş sayısı maksimum 50 olarak alınmıştır ancak daha sonraki çalışmalarda bu sayı artırılarak daha uzun vadeli planlamalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

ABEDINNIA, H., GLOCK, C.H. and BRILL, A., 2016. New Simple Constructive Heuristic Algorithms For Minimizing Total Flow-Time In The Permutation Flowshop Scheduling Problem. Computers & Operations Research, 74: 165-174.

ALLAHVERDİ, A., AYDİLEK, H. ve AYDİLEK, A., 2018. No-Wait Flowshop Scheduling Problem With Two Criteria; Total Tardiness and Makespan. European Journal Of Operational Research, 269: 590–601.

ASLAN, E., 2014,. Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemine Sezgisel Bir Yaklaşım ve Bir Uygulama. Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Üretim Yönetimi ve Pazarlama Bilim Dalı, Doktora Tezi, Kayseri, 216s.

BARGAOUI, H., DRISS, O.B. and GHÉDIRA, K., 2017. A Novel Chemical Reaction Optimization For The Distributed Permutation Flowshop Scheduling Problem With Makespan Criterion. Computers & Industrial Engineering, 111: 239-250.

BASKAR A., 2016. Revisiting The NEH Algorithm – The Power Of Job Insertion Technique For Optimizing The Makespan In Permutation Flow Shop Scheduling. Int J Ind Eng. Computations. 7: 353–366.

BİRGİN, E. G., FERREIRA, J.E. and RONCONI, D.P., 2020. A Filtered Beam Search Method For The M-Machine Permutation Flowshop Scheduling Problem Minimizing The Earliness and Tardiness Penalties and The Waiting Time Of The Jobs. Computers & Operations Research, 114: 104824.

CAMPBELL, H. G., DUDEK, R. A. and SMITH, M. L., 1970. A Heuristic Algorithm For N-Job, M-Machine Sequencing Problem. Manage Sci, 16: 630–637.

CHEN, S.H.,CHANG, P.C., CHENG, T.C.E. and ZHANG, Q., 2012. A Self-Guided Genetic Algorithm For Permutation Flowshop Scheduling Problems. Computers & Operations Research, 39: 1450-1457.

CHEN, Y.M., CHEN, M.C., CHANG, P.C. and CHEN, S.H., 2012. Extended Artificial Chromosomes Genetic Algorithm For Permutation Flowshop Scheduling Problems. Computers & Industrial Engineering, 62: 536-545.

ÇİÇEKLİ, U.G. ve BOZKURT, S., 2016. Permütasyon Akış Tipi Çizelgeleme Probleminin Dağınık Arama İle Optimizasyonu. Ege Akademik Bakış, Cilt: 16 Özel Sayı, SS. 31 / 40, Doi: 10.21121/Eab.2018OZEL24421.

DAĞ, S., 2012. Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Sezgisel Yöntemlerle Optimizasyonu. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Üretim Bilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul, 162s.

DENG, J. and WANG, L., 2017. A Competitive Memetic Algorithm For Multi-Objective Distributed Permutation Flow Shop Scheduling Problem. Swarm and Evolutionary Computation, 32: 121-131.

DÖYEN, A., 2004. Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Yapay Bağışıklık Sistemleri İle Çözümü ve Parametre Optimizasyonu. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 88s.

EREN, T., 2004. Çok Ölçütlü Akış Tipi Çizelgeleme Problemleri İçin Çözüm Yaklaşımları. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD, Doktora Tezi, Ankara, 225s.

EREN, T. ve GÜNER, E. 2005. İki Ölçütlü Beklemesiz Akış Tipi Çizelgeleme Problemi: Toplam Tamamlanma Zamanı ve Maksimum Gecikme. V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Üniversitesi, S.231-236.

FRAMINAN, J.M. and GONZALEZ, P.P., 2017. The 2-Stage Assembly Flowshop Scheduling Problem With Total Completion Time: Efficient Constructive Heuristic and Metaheuristic. Computers and Operations Research 88: 237–246.

GASQUET, P. G., ANDRÉS, C. and LARIO, F.C., 2012. An Agent-Based Genetic Algorithm For Hybrid Flowshops With Sequence Dependent Setup Times To Minimise Makespan. Expert Systems With Applications, 39 (9): 8095-8107.

GONZALEZ, P. P., VIAGAS, V. F. and FRAMINAN, J. M., 2020. Permutation Flowshop Scheduling With Periodic Maintenance and Makespan Objective. Computers & Industrial Engineering, 143:106369.

GUPTA, A. and CHAUHAN, S. A.,2015. Heuristic Algorithm For Schedulingin A Flow Shop Environment To Minimize Makespan. Int J Ind Eng Computations, 6: 173–184.

GÜÇLÜ, A., 2010. Beklemesiz Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Karınca Kolonileri Algoritması İle Çözümü. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 61s.

GÜNAYDIN, C., 2008. Beklemesiz Akış Tipi Problemlerin Çözümünde Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 74s.

HATAMI, S., RUIZ, R. and ROMANO, C.A., 2015. Heuristics and Metaheuristics For The Distributed Assembly Permutation Flowshop Scheduling Problem With Sequence Dependent Setup Times. International Journal Of Production Economics, 169: 76-88.

HSU, C.Y., CHANG, P.C. and CHEN, M.H., 2015. A Linkage Mining In Block-Based Evolutionary Algorithm For Permutation Flowshop Scheduling Problem. Computers & Industrial Engineering, 83: 159-171.

JING, X. L., PAN, Q. K., GAO, L. and WANG, Y. L., 2020. An Effective Iterated Greedy Algorithm For The Distributed Permutation Flowshop Scheduling With Due Windows. Applied Soft Computing Journal, 96: 106629.

KARABULUT, K., 2016. A Hybrid İterated Greedy Algorithm For Total Tardiness Minimization In Permutation Flowshops. Computers & Industrial Engineering, 98: 300-307.

KARIMI, N. and DAVOUDPOUR, H., 2014. A High Performing Metaheuristic For Multi-Objective Flowshop Scheduling Problem. Computers & Operations Research, 52 Part B: 149-156.

KAYA, S., 2014. Çok Amaçlı Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Geliştirilmiş Parçacık Sürü Optimizasyonu İle Çözümüne Yönelik Model Önerileri. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD, Doktora Tezi, Kocaeli, 172s.

KAYA, S. ve FIĞLALI, N., 2018. Çok Amaçlı Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözümünde Meta Sezgisel Yöntemlerin Kullanımı. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 3(3): 222-233.

KESKİN, K., 2010. Beklemesiz Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çok Amaçlı Genetik Algoritma İle Çözümü. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 94s.

KURDI, M., 2020. A Memetic Algorithm With Novel Semi-Constructive Evolution Operators For Permutation Flowshop Scheduling Problem. Applied Soft Computing Journal, 94: 106458.

KÜÇÜKKOÇ, İ., 2018. Çizelgeleme. Balıkesir Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ders Notları.

KÜPELİ, A.S., ENGİN, O. ve ENGİN, B.E., 2017. Bulanık Öğrenme Etkili Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Paralel Kanguru Algoritması İle Çözümü. Kapadokya Akademik Bakış, 1 (1): 31-48.

LEBBAR, G., EL ABBASSI, I., JABRI, A., EL BARKANY, A. and DARCHERIF, M., 2018. Multi-Criteria Blocking Flow Shop Scheduling Problems: Formulation and Performance Analysis. Advances İn Production Engineering & Management, 13 (2): 136–146.

LIN, S.W. and YING, K.C., 2013. Minimizing Makespan and Total Flowtime In Permutation Flowshops By A Bi-Objective Multi-Start Simulated-Annealing Algorithm. Computers & Operations Research, 40: 1625-1647.

LIU, W., JIN Y. and PRICE, M., 2017. A New Improved NEH Heuristic For Permutation Flowshop Scheduling Problems. International Journal Of Production Economics, 193: 21-30.

LIU, Y.F. and LIU, S.Y., 2013. A Hybrid Discrete Artificial Bee Colony Algorithm For Permutation Flowshop Scheduling Problem. Applied Soft Computing, 13: 1459-1463.

MIRJALILI, S., MIRJALILI, S. M. and LEWIS, A., 2014. Grey Wolf Optimizer. Advances In Engineering Software, 69: 46–61.

MLADENOVIC, N. and HANSEN, P., 1997. Variable Neighborhood Search. Computer Ops Res., 24, No. 1: 1097-1100.

MUSUL, B., 2019. Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Probleminin Hibrit Metasezgisel Yaklaşım İle Çözümü. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 139s.

NADERI, B. and RUIZ, R., 2010. The Distributed Permutation Flowshop Scheduling Problem. Computers & Operations Research, 37 (4): 754-768.

NADERI, B., ZANDIEH, M. and SHIRAZI, M.A.H.A., 2009. Modeling and Scheduling A Case Of Flexible Flowshops: Total Weighted Tardiness Minimization. Computers & Industrial Engineering, 57 (4): 1258-1267.

NAILWAL, K. K., GUPTA, D. and JEET, K., 2019. Improved Solution For Minimizing Makespan In Permutation Flow Shop. Journal Of Industrial and Production Engineering, 36 (3): 168-180.

NAWAZ M., ENSCORE J.R.E.E. and HAM I., 1983. A Heuristic Algorithm For The *M*-Machine, N-Job Flow-Shop Sequencing Problem. Omega, The International Journal Of Management Science, 11(1): 91‑5.

ÖZTEKİN, M.S., 2009. Discrete Particle Swarm Optimization and Differential Evolution Algorithms For Flow Shop Scheduling Problems. Fatih Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 81s.

ÖZTÜRK, R.E., 2007. Esnek Akış Tipi ve Çok İşlemcili Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Paralel Doyumsuz Algoritma İle Çözümü. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Abd, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 83s.

PAN, Q. K., GAO, L., WANG L., LIANG, J. and LI, X.Y., 2019. Effective Heuristics And Metaheuristics To Minimize Total Flowtime For The Distributed Permutation Flowshop Problem. Expert Systems With Applications, 124: 309-324.

PENG, K., WEN L., LI, R., GAO, L. and LI, X., 2018. An Effective Hybrid Algorithm For Permutation Flow Shop Scheduling Problem With Setup Time. Procedia CIRP, 72: 1288-1292.

RIAHI, V., CHIONG, R. and ZHANG, Y., 2020. A New Iterated Greedy Algorithm For No-Idle Permutation Flowshop Scheduling With The Total Tardiness Criterion. Computers and Operations Research 117: 104839.

RUIZ, R., ŞERİFOĞLU, F. S. and URLINGS, T., 2008. Modeling Realistic Hybrid Flexible Flowshop Scheduling Problems. Computers & Operations Research, 35 (4): 1151-1175.

RUIZ, R. and MAROTO, C., 2005. A Comprehensive Review and Evoluation Of Permutation Flowshop Heuristics. European Journal Of Operational Research, 165: 479–494.

RUIZ, R., PAN, Q.K. and NADERI, B., 2019. Iterated Greedy Methods For The Distributed Permutation Flowshop Scheduling Problem. Omega, 83: 13-222.

SEÇME, G., 2006. Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Yapay Sinir Ağları İle Modellenmesi. Erciyes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 108s.

ŞAHİN, C., 2014. Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Paralel Doyumsuz Algoritma İle Çözümü. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 69s.

TAILLARD, E., 1993. Benchmarks For Basic Scheduling Problems. Eur J Oper Res. 64: 278–285.

TAJBAKHSH, Z. and FATTAHI, P., 2014. Multi-Objective Assembly Permutation Flow Shop Scheduling Problem: A Mathematical Model and A Meta-Heuristic Algorithm, Journal Of The Operational Research Society, October 2014, 65 (10):1580-1592.

TAYEB, F.B.S., BESSEDIK, M., BENBOUZID, M., CHEURFI, H. and BLIZAK, A., 2017. Research On Permutation Flow-Shop Scheduling Problem Based On Improved Genetic Immune Algorithm With Vaccinated Offspring. Procedia Computer Science, 112: 427–436.

TOPÇAM, F., 2019. Melez Ateşböceği Algoritması İle Çok Amaçlı Esnek Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Çözümü. Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 57s.

TOSUN, Ö., 2012. Yapay Arı Kolonisi Algoritması ve Permütasyon Akış Tipi Çizelgeleme Problemine Uygulanması. Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Antalya, 99s.

VIAGAS, V.F. and FRAMINAN, J.M., 2014. On Insertion Tie-Breaking Rules In Heuristics For The Permutation Flowshop Scheduling Problem. Computers & Operations Research, 45: 60-67.

VIAGAS, V. F. and FRAMINAN, J. M., 2015. Efficient Non-Population-Based Algorithms For The Permutation Flowshop Scheduling Problem With Makespan Minimisation Subject To A Maximum Tardiness. Computers & Operations Research, 64: 86-96.

VIAGAS, V.F. and FRAMINAN, J.M., 2015. NEH-Based Heuristics For The Permutation Flowshop Scheduling Problem To Minimise Total Tardiness. Computers & Operations Research, 60: 27-36.

WANG, J.J. and ZHANG, B.H., 2015. Permutation Flowshop Problems With Bi-Criterion Makespan and Total Completion Time Objective and Position-Weighted Learning Effects. Computers & Operations Research, 58: 24-31.

WANG, X. and TANG, L., 2012. A Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm With Self-Adaptive Diversity Control For The Permutation Flowshop Problem With Blocking. Applied Soft Computing, 12 (2): 652-66.

WU, W.H., WU, W.H., CHEN, J.C., LIN, W.C., WU, J. and WU, C.C., 2015. A Heuristic-Based Genetic Algorithm For The Two-Machine Flowshop Scheduling With Learning Consideration. Journal Of Manufacturing Systems, 35: 223-233.

XU, J., YIN Y., CHENG, T.C.E., WU, C.C. and GU, S., 2014. A Memetic Algorithm For The Re-Entrant Permutation Flowshop Scheduling Problem To Minimize The Makespan. Applied Soft Computing, 24: 277-283.

YAĞMAHAN, B. ve YENİSEY, M. M., 2006. Akış Tipi Çizelgeleme Problemi İçin KKE Parametre Eniyileme. İtüdergisi, Cilt:5, Sayı:2, Kısım:2: 133-141.

YAHYAOUI, H., KRICHEN, S., DERBEL, B. and TALBI, E.G., 2015. A Hybrid ILS-VND Based Hyper-Heuristic For Permutation Flowshop Scheduling Problem. Procedia Computer Science, 60: 632-641.

YILMAZ, G., 2014. Variable Neighborhood Search For Flowshop Scheduling Problem With Sequence Dependent Setup Times. Koç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 128s.

YING, K. C. and LIN, S. W., 2013. A High-Performing Constructive Heuristic For Minimizing Makespan In Permutation Flowshops. J Ind Prod Eng., 30: 355–362.

YÜKSEL, D., 2019. Bi-Objective No-Wait Permutation Flowshop Scheduling Problems. Yaşar Unıversity, Graduate School Of Natural and Applied Sciences, Industrial Engineering, Master Thesis, İzmir, 130s.

ZANGARI, M., CONSTANTINO, A.A. and CEBERIO, J., 2018. A Decomposition-Based Kernel Of Mallows Models Algorithm For Bi- and Tri-Objective Permutation Flowshop Scheduling Problem. Applied Soft Computing, 71: 526-537.

ZHONGSHI, S., DECHANG, P. and WEISHI, S., 2018. A Multi-Objective Discrete Invasive Weed Optimization For Multi-Objective Blocking Flow-Shop Scheduling Problem. Expert Systems With Applications, 113: 77-99.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ayşe ÇELİK

Uyruğu: : T. C.

Doğum Yeri ve Tarihi : Fatih / 18.01.1996

E-mail : aysecelikk96@gmail.com

EĞİTİM

	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: ÇEAŞ Anadolu Lisesi, Haliliye, Ş.urfa	2014
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2018
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi, Haliliye, Ş.urfa	2020

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2019 - Halen	FLO Mağ. ve Paz. A. Ş.	Metot ve İş Geliştirme Uzm. Yrd.

UZMANLIK ALANI : Endüstri Mühendisliği

YABANCI DİLLER : İngilizce

YAYINLAR :

Solution of Exam Supervisor Assignment Problem to Final Exams by Goal Programming. (International Conference on Data Science, MachineLearning and Statistics - 2019 (DMS-2019), pp. 129-131.)

Mathematical Model of Flow Shop Scheduling Problems and Solution with Metaheuristic Methods. (International Conference on Data Science, MachineLearning and Statistics - 2019 (DMS-2019), pp. 123-125.)

0-1 Tamsayılı Programlama ile Bir Hiper Süpermarkette Vardiya Çizelgeleme Problemine Bir Çözüm Önerisi. **(**ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi, 2019, 1(1): 48-54.)

EKLER

EK 1. Probleme İlişkin Veriler (50 iş x 28 makinedeki işlem süreleri (sn) (1-20 iş))

Makine/ İşler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Salpa yapıştırma	196	174	200	182	186	90	190	185	126	192	85	175	92	108	186	110	120	96	130	115
Sayaya latex	168	180	173	178	154	60	160	170	80	145	67	167	56	92	158	90	86	63	95	85
Salpaya latex sürme	205	194	196	208	185	90	190	200	123	187	80	170	96	107	196	118	126	87	110	115
Fırın	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660
Ön monta	227	220	208	238	214	180	215	218	192	230	174	227	182	186	210	184	203	168	200	195
Arka yükseklik ayarlama	108	115	118	98	124	60	100	105	88	126	58	120	65	82	117	96	78	70	80	75
Fırın	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Arka monta	98	96	105	90	114	60	95	88	82	100	68	102	67	73	96	70	72	52	85	75
Alt zımpara	98	100	92	84	81	45	85	80	66	87	42	92	40	72	83	55	78	37	62	60
Çizgi çekme	352	339	334	330	342	300	335	345	320	338	312	340	290	317	332	325	318	306	314	315
Çiftleme	150	142	154	157	148	105	145	152	125	163	92	165	112	130	147	140	132	118	136	120
1.kat iş ilacı	210	226	217	225	200	120	220	226	140	230	110	217	125	135	235	146	150	106	152	145
Fırın	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Taban ilacı	190	194	205	206	218	120	210	206	160	236	127	224	114	158	195	146	163	135	156	150
Fırın	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
2.kat iş ilacı	246	218	227	224	238	120	230	225	148	242	116	250	126	142	238	140	154	117	150	145
Çift fırın	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Birleştirme üste	196	192	187	200	222	120	220	200	160	205	105	230	118	145	184	163	142	110	148	140
Presleme	285	288	295	276	300	180	280	275	240	260	196	276	170	226	282	230	220	198	214	205
Şoklama	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Kalıptan çıkarma	165	175	173	170	142	60	160	158	90	152	63	156	72	80	145	88	92	53	96	85
Mostra takma	210	185	175	188	207	120	200	190	145	220	110	196	130	132	205	136	142	125	138	140
İlaç temizleme	175	168	182	184	174	90	180	186	115	178	98	165	94	126	194	120	130	82	118	110
Kağıt takma	242	245	238	250	218	150	235	247	170	210	152	220	137	165	226	172	180	142	168	175
Şırınga	335	342	340	352	336	240	330	342	260	350	227	348	245	280	337	270	275	256	260	265
Son kontrol	316	327	344	318	326	240	320	325	264	335	248	340	242	250	308	258	275	238	272	260
Etiket takma	525	490	500	493	504	420	510	518	435	527	400	516	414	442	530	446	452	430	450	440
Kutulama	612	616	598	622	610	540	625	615	572	608	530	590	550	565	620	580	568	556	570	560

Ek 1. Devam… (50 iş x 28 makinedeki işlem süreleri (sn) (21-40 iş))

Makine/ İşler	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Salpa yapıştırma	130	113	115	131	198	184	95	87	200	83	130	200	88	86	86	199	181	93	119	121
Sayaya latex	85	93	0	88	156	163	0	57	175	65	84	0	62	58	58	172	0	63	92	0
Salpaya latex sürme	117	118	0	122	194	185	0	87	196	92	109	0	93	81	92	200	0	85	125	0
Fırın	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660
Ön monta	199	186	189	199	226	216	173	169	235	175	188	234	168	177	176	223	225	171	187	194
Arka yükseklik ayarlama	89	89	85	96	100	111	58	64	118	70	96	101	70	63	63	109	115	65	77	76
Fırın	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Arka monta	72	80	70	71	102	100	65	58	113	55	72	102	61	63	63	104	107	60	75	71
Alt zımpara	74	69	76	78	85	95	42	43	84	45	55	91	39	42	43	80	86	40	72	67
Çizgi çekme	322	324	318	322	335	350	293	304	347	310	316	347	301	296	311	341	339	302	316	316
Çiftleme	132	121	131	129	146	151	114	107	147	94	123	158	94	101	107	146	146	104	137	120
1.kat iş ilacı	142	140	144	148	218	222	125	112	208	125	140	201	124	115	108	207	232	115	145	144
Fırın	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Taban ilacı	155	149	148	150	192	206	116	123	227	128	150	209	135	118	135	194	201	128	146	153
Fırın	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
2.kat iş ilacı	142	144	150	149	249	222	119	119	235	122	144	222	124	121	119	219	231	124	154	152
Çift fırın	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Birleştirme üste	146	143	148	152	217	189	108	106	215	106	142	206	118	110	116	223	229	106	142	142
Presleme	210	215	238	231	265	295	198	179	282	196	234	274	188	174	177	284	276	184	226	237
Şoklama	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Kalıptan çıkarma	81	95	88	93	144	148	67	55	158	62	88	153	74	68	54	165	173	55	91	83
Mostra takma	141	143	136	135	190	207	127	118	184	110	144	200	110	123	114	177	216	118	139	135
İlaç temizleme	118	115	130	113	175	176	83	81	173	91	122	182	96	92	83	192	190	91	129	114
Kağıt takma	175	172	172	176	243	228	147	138	247	150	168	239	152	143	148	240	226	140	172	177
Şırınga	270	261	277	262	340	332	250	231	350	240	270	339	247	255	246	346	345	234	269	272
Son kontrol	274	262	264	260	312	322	243	242	329	240	263	310	238	244	247	322	319	242	274	265
Etiket takma	450	445	448	447	520	490	414	411	511	414	451	496	401	404	410	509	514	426	449	444
Kutulama	578	577	561	564	592	609	556	551	612	556	576	617	547	536	551	595	592	553	568	580

Ek 1. Devam… (50 iş x 28 makinedeki işlem süreleri (sn) (41-50 iş))

Makine/ İşler	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Salpa yapıştırma	123	108	111	175	92	112	97	180	94	192
Sayaya latex	0	81	0	0	63	0	0	0	64	0
Salpaya latex sürme	0	124	0	0	84	0	0	0	90	0
Fırın	660	660	660	660	660	660	660	660	660	660
Ön monta	203	191	191	238	180	199	181	210	173	237
Arka yükseklik ayarlama	75	95	77	120	58	94	60	107	60	116
Fırın	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Arka monta	84	73	71	97	67	80	66	99	67	88
Alt zımpara	61	65	57	81	37	58	42	96	41	98
Çizgi çekme	325	319	316	345	292	316	301	342	297	336
Çiftleme	132	122	137	143	100	130	106	160	92	155
1.kat iş ilacı	151	135	141	211	111	138	121	203	124	223
Fırın	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Taban ilacı	148	149	146	214	118	150	124	236	131	232
Fırın	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
2.kat iş ilacı	142	151	143	223	126	146	121	244	123	219
Çift fırın	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Birleştirme üste	143	163	157	227	112	157	116	214	116	205
Presleme	205	210	207	284	197	234	171	293	178	260
Şoklama	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Kalıptan çıkarma	87	86	93	166	55	91	54	148	63	145
Mostra takma	145	141	136	201	113	142	120	180	127	186
İlaç temizleme	130	123	122	180	88	124	84	188	98	170
Kağıt takma	167	170	169	240	143	179	149	227	147	248
Şırınga	273	263	278	341	253	272	235	336	240	338
Son kontrol	270	257	259	313	247	270	242	315	240	320
Etiket takma	442	449	442	520	429	441	405	516	415	505
Kutulama	572	564	563	591	550	570	533	605	556	613

Ek 1. Devam… (İşlere ait teslim süreleri (sn))

İşler	TERMİN ZAMANI
1	6 800
2	16 200
3	4 500
4	16 200
5	16 200
6	15 800
7	8 200
8	16 300
9	18 500
10	16 800
11	25 300
12	4 500
13	18 200
14	16 500
15	15 300
16	17 800
17	19 120
18	18 000
19	18 950
20	19 450
21	20 100
22	38 670
23	38 670
24	38 670
25	39 680

İşler	TERMİN ZAMANI
26	38 650
27	17 800
28	38 500
29	39 700
30	38 500
31	19 450
32	19 450
33	38 500
34	16 800
35	19 450
36	20 540
37	31 850
38	16 800
39	19 450
40	25 300
41	38 500
42	19 450
43	18 720
44	38 500
45	39 200
46	39 680
47	39 680
48	38 500
49	20 100
50	39 650