

ETİ ŞİRKETLER GRUBU'NDA ÜRETİM ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN BİR HEDEF PROGRAMLAMA MODELİ VE GENETİK ALGORİTMA

Müzeyyen Melek KOÇANLI, Yakup Emre AYDINBEYLİ, Tuğba SARAÇ*

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir
melekkocanli@gmail.com, aydinbeyliemre@gmail.com, tsarac@ogu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, Eti Şirketler Grubu bünyesinde bulunan üretim tesisinde mamullerin hangi hatlarda, hangi sırayla üretilmesi gerektiğinin belirlendiği n mamul, m özdeş paralel makine çizelgeleme probleminin özel bir hali ele alınmıştır. Çok amaçlı yapıda olan ve sürece özel kısıtlar içeren problem için bir hedef programlama modeli önerilmiştir. Önerilen modelin gerçek hayatta karşılaşılan boyutları kesin çözüm yöntemleriyle çözülememektedir. Bu nedenle, çözümü için bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Önerilen algoritma, özgün bir çaprazlama operatörünün de içermektedir. Geliştirilen çözüm yaklaşımının etkinliği türetilen küçük, orta ve büyük boyutlu test problemleri üzerinde sınanmış ve son olarak gerçek problem için elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çizelgeleme, paralel makineler, hedef programlama, genetik algoritma

A GOAL PROGRAMING MODEL AND A GENETIC ALGORITHM FOR THE PRODUCTION SCHEDULING PROBLEM IN ETI COMPANIES GROUP

ABSTRACT

In this study, a special type of identical parallel machine scheduling problem with n products and m identical machines is considered to determine that the products should be produced in which machine and order at the plant of Eti Companies Group. The multi-objective goal programming model with special process constraints is proposed for this problem. Since size of this kind of problems is usually large in real life, they cannot be solved with exact solution methods. Therefore, a genetic algorithm with an original crossover operator is developed for solving this problem. The effectiveness of the developed solution approach is tested on small, medium and large size randomly generated test instances. Finally, the results obtained for the real-life problem are discussed.

Keywords: Scheduling, parallel machines, goal programming, genetic algorithm

* İletişim yazarı

Doğuş Üniversitesi tarafından düzenlenen 32. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Proje Yarışması'nda birincilik ödülü kazanan çalışmanın ilgili öğretim üyelerinin katkılarıyla düzenlenmiş halini EM Dergisi yayın politikası doğrultusunda yayımlıyoruz.

1. GİRİŞ

Bir üretim sisteminde temel amaç, pazar talebinin zamanında karşılanmasıdır. Bu amacı gerçekleştirmek için eldeki stok miktarı, makinelerin kapasitesi, bakım planları ve işçi verimliliği gibi üretim kısıtları göz önünde bulundurularak üretimin planlanması ve oluşturulan planların ortaya çıkacak beklenmedik gelişmeler karşısında sürekli güncellenmesi gerekmektedir (Saraç, 2009). Üretimde hangi kaynakların, ne zaman ve nasıl kullanılacaklarının tespit edilmesine ve işlerin hangi sırayla üretileceğinin belirlenmesine çizelgeleme denmektedir. Etkin bir çizelgeleme sayesinde belirli faaliyetlerin daha az kaynak kullanarak daha kısa zamanda yapılabilme olanağı ortaya çıkmaktadır (Güldal, 1990).

Bir çizelgeleme probleminin en çok kabul gören sınıflandırma biçimi $\alpha / \beta / \gamma$ üçlü gösterimidir. Bu üçlü gösterimdeki α alanı, üretim ortamının türünü göstermektedir. β alanı, işlem karakteristiklerinin detaylarını açıklamaktadır. γ alanı ise ele alınacak amacı tanımlamaktadır (Pinedo, 2002; Baker, 1994).

α alanında tanımlanabilecek üretim ortamı türlerinden bazıları aşağıda verilmiştir (Pinedo, 2002):

1 (*single machine*). Olası üretim ortamının en basiti olan tek makineyi ifade eder. Tek makine, diğer tüm karmaşık sistemlerin özel bir durumudur.

Pm (*identical parallel machines*). Paralel m adet özdeş makine söz konusudur. j işi tek bir işlem gerektirmekte ve m sayıdaki makinelerin herhangi birinde veya belirli bir alt kümeyle ait makinelerin herhangi birinde işlenebilmektedir.

Qm (*machines in parallel with different speeds*). Farklı hızlara sahip m adet paralel makine söz konusudur.

Fm (*flowshop layout*). Akış tipi yerleşim düzeninde birbirine seri olarak bağlı m adet makineyi ifade eder. Tüm işler, aynı rotayı izleyerek işlem görürler.

FFc (*flexible flowshop layout*). Esnek akış tipi yerleşimini ifade eder. Birbirine seri bağlı c adet aşamanın yanında her bir aşamada paralel makine durumunu tarifler.

Jm (*job shop layout*). Atölye tipi yerleşim düzeninde, her bir işin kendisine ait önceden belirlenmiş farklı bir rotası vardır.

FJc (*flexible job shop layout*). Her bir iş merkezinde belirli sayıda paralel makinenin bulunduğu c adet iş merkezini ifade eder.

β alanında tanımlanabilecek işlem karakteristiklerinden bazıları aşağıdaki gibidir:

r_j (*release date*). j işinin serbest bırakma zamanından önce işlem görememesi durumunu ifade eder.

s_{jk} (*sequence dependent set up times*). j ve k işleri arasındaki işlem sırasına bağımlı hazırlık süresini ifade etmektedir. Bu durumda bir işin işlem göreceği makinede gerektirdiği hazırlık süresi, öncesinde işlem gören işe göre değişebilmektedir.

$prmp$ (*preemption*). İşlerin bölünebilirliği, bir makinede işlem görmeye başlayan bir işin tamamlanmadan önce durdurulup yeni bir işe başlanabilmesi olarak tanımlanır.

$prec$ (*precedence constraints*). Öncelik kısıtları, tek makine veya paralel makine ortamlarında, bir veya daha fazla işin bir makinede diğer işler işlem görmeye başlamadan önce tamamlanması gerektiğini ifade eder.

M_j (*machine eligibility*). j işini işleyebilen makinelerin kümesini ifade eder.

γ alanında problemin amaç fonksiyonuna ait bilgiler yer alır. Eniyilenmeye çalışılan amaç, daima tamamlanma zamanının bir fonksiyonudur ve dolayısıyla çizelgeye bağlıdır. j işinin i makinesindeki operasyonunun tamamlanma zamanı C_{ij} ile gösterilir. j işinin sistemden çıkış zamanı ise C_j ile ifade edilir. Ayrıca amaç teslim tarihinin bir fonksiyonu da olabilir. Bu fonksiyonlardan j işinin teslim tarihinden sapma süresi (Lateness) izleyen şekilde gösterilir: $L_j = C_j - d_j$

j işinin tamamlanma süresi teslim tarihini aştığında L_j pozitif, j işi teslim tarihinden önce tamamlandığında L_j negatif değer alır. Tamamlanma zamanının bir başka fonksiyonu, j işinin geç tamamlanma süresi (Tardiness), izleyen şekilde tanımlanır: $T_j = \max(C_j - d_j, 0) = \max(L_j, 0)$. Gecikme (L_j) ve geç tamamlanma

süresi (T_j) arasındaki temel fark; geç tamamlanma süresinin alacağı değer asla negatif olmamasıdır.

γ alanında gösterilebilecek diğer amaçlardan bazıları aşağıda verilmiştir (Pinedo, 2002):

En Büyük Tamamlanma Zamanı (C_{max}). En büyük tamamlanma zamanı, $Max(C_1, \dots, C_n)$ şeklinde tanımlanmakta olup sistemi terk eden en son işe ait tamamlanma zamanını ifade etmektedir. En küçükleme genellikle yüksek makine verimliliğini sağlar.

En Büyük Gecikme (L_{max}). Hedeflenen teslim tarihinden en büyük sapmanın ölçümünde kullanılır. $Max(L_1, \dots, L_n)$ olarak tanımlanır.

Ağırlıklandırılmış Toplam Tamamlanma Zamanı ($\sum w_j C_j$). n adet işin ağırlıklandırılmış toplam tamamlanma zamanı çizelgeye bağlı olarak toplam stok maliyeti veya elde tutma maliyetinin bir ölçüsünü verir.

Ağırlıklandırılmış Toplam Geç Tamamlanma Süresi ($\sum w_j T_j$). Toplam ağırlıklandırılmış tamamlanma zamanından daha genel bir maliyet fonksiyonudur.

Bu çalışmada, Eti Şirketler Grubu kapsamında bir üretim tesisinde mevcut kısıtlar altında istenen amaçları sağlayacak şekilde tesise gelen ara mamullerin çizelgelenmesi problemi ele alınmıştır. Mevcut durumda tesiste başka bir uygulamayla yapılan üretim çizelgeleme sürecini iyileştirmek esas alınmıştır. Üretim tesisinde, ortalama 30 çeşit mamul üretilmektedir ve 17 üretim hattı bulunmaktadır. Standart olarak (normal mesai) haftada altı iş günü (18 vardiya) boyunca üretim gerçekleştirilmektedir. İhtiyaç duyulan hallerde ise fazla mesai uygulaması yapılarak haftada yedi iş günü (21 vardiya) çalışma yapılmaktadır. Üretim planları, dört haftalık olarak oluşturulmaktadır. Aynı zamanda, haftalık ve iki haftalık sürelerle de çizelgeler oluşturularak durum gözlenmektedir.

Tesisteki üretim hatlarındaki farklılıklar nedeniyle, her mamul her hatta üretilmemektedir. Öte yandan, mamullerin üretildikleri hatlardaki üretim süreleri ise eşittir. Bazı hatlarda ara mamullerin işleme girme sırasına göre hatların hazırlık süreleri farklılık göstermektedir. Bir başka deyişle, hazırlık süreleri sıra bağımlıdır. Mamullerin tamamı planlama periyodu-

nun başında hazır değildir. Her ara mamulün tesise geliş zamanı diğer bir deyişle serbest bırakma zamanı (*release date*) ve mamul olarak teslim zamanı (*due date*) belirlidir. Üretimin gerektirdiği işçi sayısı, her mamul üretimi için farklılık göstermektedir. Mevcut iş gücü kısıtları nedeniyle her zaman bir vardiyada bütün hatlar çalıştırılmayabilmektedir. İlaçlama, bakım gibi sebeplerden dolayı bazı vardiyalarda bazı hatlar üretime kapalı olabilmektedir. Resmi tatil gibi sebeplerden dolayı da bazı vardiyalarda hiç üretim yapılamamaktadır. Bu bilgilere ek olarak her hattın kendine ait arızalanma oranı da göz önünde bulundurularak üretim vardiyalık olarak çizelgenmektedir.

Çalışmanın yapıldığı firma gıda sektöründe faaliyet gösterdiği için, mamullerin raf ömrü ve tazeliği çok önemlidir. Bu nedenle, mamullerin stokta geçirdikleri sürenin arzu edilen günü aşmaması ve en son işin tamamlanma zamanının da en küçükleme istenmektedir. Ayrıca, oluşturulacak çizelge ile müşteri memnuniyetini sağlamada önemli kavramlar olan; yok satma ve gecikmenin yaşanmaması da istenmektedir. Gecikme, mamullerin tamamlanma zamanı ile müşteriye vaat edilen teslim zamanı arasındaki fark; yok satma ise müşteri taleplerinin karşılanamaması olarak tanımlanabilir. Son olarak, her ara mamulün üretimi için ayrılmış olan bütçelerin mümkün olduğunca aşılması hedeflenmektedir.

Ele alınan problemin kısıtları ve amaçları göz önünde bulundurulduğunda problem, özdeş paralel makine çizelgeleme probleminin özel bir halidir ve literatürde kullanılan sınıflandırma biçimine göre $P_{m|r_p, s_{j,k}, M_j|(c_j - r_j), T_p, \Sigma}$ üretim maliyeti, $c_{max1}, \Sigma_{j,k} s_{j,k}$ olarak gösterilebilir.

Erişilebilen literatür dikkate alındığında, bu kapsamda ele alınan başka bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmanın izleyen bölümünde, geliştirilen hedef programlama modeli ve çözümüyle elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Geliştirilen genetik algoritma ve çözüm sonuçları üçüncü bölümde tartışılmıştır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar ve ileriye yönelik öneriler sunulmuştur.

2. GELİŞTİRİLEN HEDEF PROGRAMLAMA MODELİ

Bu bölümde, geliştirilen hedef programlama modeli ve çözümüyle elde edilen sonuçlar ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Proje kapsamında ele alınan problemin belirlenen hedefler doğrultusunda en iyi çözümünü elde etmek için bir hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Bu tekniğe göre hedefler belirlenerek bu hedeflerden istenmeyen yöndeki sapmalar enküçülenmeye çalışılır. Önerilen çok amaçlı hedef programlama modelinin kabulleri, içerdiği parametreler, karar değişkenleri, kısıtlar ve amaç fonksiyonları / hedefleri aşağıda verilmiştir.

Kabuller

- Bir üretim hattına bir vardiya boyunca en fazla bir mamul atanabilir.
- İşletme politikası gereği bir mamul çeşidi aynı vardiyada en fazla iki farklı üretim hattına atanır.
- İşçi ve ara mamul kısıtları nedeniyle herhangi bir vardiyada çalışmayan hatlar bulunabilir.
- Bir hattaki mamul çeşidinin değişimi ve hatların hazırlıkları vardiya başlarında yapılır.
- Sadece ardışık vardiyalara mamul ataması yapıldığında sıra bağımlı hazırlık süresi dikkate alınır.
- Planlama dönemi boyunca gelen ara mamuller kendine ait geliş zamanı (r_j), talebi, teslim zamanı ve işlem süresi olan ayrı işler gibi düşünülür ve farklı indis numaralarıyla belirtilir. Belirlenen bu indis numaralarıyla ilişkili olarak modelin ihtiyaç duyduğu parametreleri içeren parametre dosyası oluşturulur. Model, işlerle ilgili parametreleri oluşturulan parametre dosyasından okur.

Kümeler:

$N\{1,2,\dots,n\}$ mamul kümesi

$M\{1,2,\dots,m\}$ hat kümesi

$O\{1,2,\dots,o\}$ vardiya kümesi

$H\{1,2,\dots,h\}$ hedef kümesi

İndisler:

i ve $j \in N$ belirli bir mamulü göstermek için kullanılan indislerdir.

$k \in O$ vardiyayı göstermek amacıyla kullanılan indistir.

$l \in M$ belirli bir hattı göstermek üzere kullanılan indistir. $q \in H$ belirli bir hedefi göstermek üzere kullanılan indistir.

Parametreler:

n : mamul sayısıdır.

m : hat sayısıdır.

o : vardiya sayısıdır.

h : hedef sayısıdır.

$ucret$: Bütçe kısıtını kontrol etmede kullanılan dakikalık işçilik ücretidir.

$butce_j$: j .mamulün üretimi için ayrılmış olan bütçedir.

p_j : j mamulünün işlem süresidir (dakika).

d_j : j .mamulün üretiminin tamamlanıp müşteriye teslimi için depoya gönderilmesi gereken zamandır (dakika).

r_j : j .mamulün ara mamulünün depoya girmesi planlanan zamandır (dakika).

$b_{j,l}$: Her mamul, hatların sahip oldukları nitelikler nedeniyle her hatta üretilmemektedir.

Bu parametre, her mamul için atama yapılabilecek hatları temsil eder (j . mamul l . hatta üretilbiliyorsa 1, diğer durumlarda 0).

$g_{k,l}$: Bir üretim hattı, bakım gibi sebeplerle ilgili vardiyada üretime kapalı olabilir. Bu parametre hatların hangi vardiyalarda üretime elverişli olduğunu gösterir (k . vardiyada l . hatta üretim yapılabiliyorsa 1, diğer durumlarda 0).

$e_{j,l}$: j . mamulün l . hatta gerektirdiği iş gücü miktarıdır.

$talep_j$: Depoda mevcut bulunan mamul miktarı, ara mamul miktarı ve emniyet stokları göz önünde bulundurularak j .mamule olan talep miktarının arındırılmasıyla elde edilen, planlama dönemi boyunca j .mamulden üretilen miktarıdır.

$vardiya_k$: k . vardiyanın çalışma süresidir.

$isgucu_k$: k . vardiyanın iş gücü miktarıdır.

$ariza_l$: l . hattın arızalanma olasılığıdır (Arıza Oranı).

s_{ij} : i .mamulden hemen sonra j . mamulün üretimine geçilebilmesi için gereken hazırlık süresidir (Sıra Bağımlı Hazırlık Süresi).

V : çok büyük pozitif bir sayıdır.

Karar Değişkenleri:

y_{jkl} : Mamulün hangi vardiyada hangi hata atandığını gösteren karar değişkenidir. (j .mamulün k .vardiyada l . üretim hattına atandıysa 1, diğer durumlarda 0)

x_{ijkl} : Sıra bağımlı hazırlık sürelerini modelde kullanıp kullanılmayacağını gösteren karar değişkenidir. Eğer üretimi gerçekleştirilecek iki farklı ürün ardışık vardiyalarda çizelgelenirse x_{ijkl} karar değişkeni 1 değerini alır. (i . mamulden sonra j . mamul k .vardiya l . üretim hattına atandıysa 1, diğer durumlarda 0)

C_j : Toplam çizelgeleme uzayındaki j . mamulün tamamlanma zamanıdır.

$Cara_{j,k,l}$: j .mamulün k .vardiyada l . hatta tamamlanma zamanıdır.

C_{maxl} : l . hattaki son mamulün tamamlanma zamanına eşittir.

T_j : j . mamulünün gecikmesidir. $T_j = \text{enb}\{C_j - d_j, 0\}$

s_q^+ : q . hedeften pozitif yönde sapma ve s_q^- : q .

hedeften negatif yönde sapmadır.

$$\sum_{k=1}^o \sum_{l=1}^m y_{j,k,l} \cdot \frac{\text{vardiya}_k \cdot (1 - \text{ariza}_l)}{p_j} - \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^o \sum_{l=1}^m \frac{s_{i,j} \cdot x_{i,j,k,l}}{p_j} \geq \text{talep}_j \quad \forall j \quad (1)$$

$$x_{i,j,k,l} \geq 1 - V \cdot (2 - y_{i,k-1,l} - y_{j,k,l}) \quad \forall i, j, k, l \quad (2)$$

$$2 \cdot x_{i,j,k,l} \leq y_{i,k-1,l} + y_{j,k,l} \quad \forall i, j, k, l \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^m y_{j,k,l} \cdot e_{j,l} \leq \text{isgucu}_k \quad \forall k \quad (4)$$

$$r_j \cdot y_{j,k,l} \leq 0 \quad \forall j, l, k = 1 \quad (5)$$

$$r_j - V \cdot (1 - y_{j,k,l}) \leq (k - 1) \cdot 480 \cdot y_{j,k,l} \quad \forall j, l, k > 1 \quad (6)$$

$$b_{j,l} \geq y_{j,k,l} \quad \forall j, k, l \quad (7)$$

$$g_{k,l} \geq y_{j,k,l} \quad \forall j, k, l \quad (8)$$

$$\text{vardiya}_k \geq y_{j,k,l} \quad \forall j, k, l \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{j,k,l} \leq 1 \quad \forall k, l \quad (10)$$

$$\sum_{l=1}^m y_{j,k,l} \leq 2 \quad \forall j, k \quad (11)$$

$$\text{cara}_{j,k,l} = k \cdot 480 \cdot y_{j,k,l} \quad \forall j, k, l \quad (12)$$

$$c_j \geq \text{cara}_{j,k,l} \quad \forall j, k, l \quad (13)$$

$$\text{cmax}(l) \geq \text{cara}_{j,k,l} \quad \forall j \quad (14)$$

$$T_j \geq c_j - d_j \quad \forall j \quad (15)$$

$$(c_j - r_j) + s_1^-(j) - s_1^+(j) = 10 * 24 * 60 \quad \forall j \quad (16)$$

$$T_j - s_2^+(j) = 0 \quad \forall j \quad (17)$$

$$\sum_{k=1}^o \sum_{l=1}^m y_{j,k,l} \cdot e_{j,l} \cdot \text{ucret} + s_3^-(j) - s_3^+(j) = \text{butce}_j \quad \forall j \quad (18)$$

$$\text{cmax}_l + s_4^-(l) - s_4^+(l) = 2 * 6 * 3 * 480 \quad \forall l \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^o \sum_{l=1}^m x_{i,j,k,l} \cdot s_{i,j} - s_5^+ = 0 \quad (20)$$

$$y_{jkl} \in \{0,1\} \quad \forall j, k, l \quad (21)$$

$$x_{ijkl} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, k, l \quad (22)$$

$$C_j \geq 0 \quad \forall j \quad (23)$$

$$\text{Cara}_{j,k,l} \geq 0 \quad \forall j, k, l \quad (24)$$

$$\text{Cmax}_l \geq 0 \quad \forall l \quad (25)$$

$$T_j \quad \forall j \quad (26)$$

$$s_q^+ \text{ ve } s_q^- \geq 0 \quad \forall q \quad (27)$$

kısıtları altında,

$$\text{enkz} = \sum_{j=1}^n s_1^+(j) + \sum_{j=1}^n s_2^+(j) + \frac{\sum_{j=1}^n s_3^+(j)}{\text{ucret}} + 0,10 * \sum_{l=1}^m s_4^+(l) + s_5^+ \quad (28)$$

Kısıt (1), talep kısıtıdır. Burada, vardiya süresi ile ($1 - \text{ariza}_l$) çarpılarak etkin vardiya süresi bulunur. Etkin vardiya süresinden sıra bağımlı hazırlık süresi çıkarılarak üretime ayrılacak süre hesaplanır. Bu sürenin ilgili mamulün işlem süresine bölünmesiyle vardiyada üretilecek olan mamul sayısı elde edilmiş olur. Üretim miktarının ilgili mamul için talep_j den büyük ya da eşit olması istendiğinden üretilmesi istenen miktarı karşılayacak kadar vardiyaya atama yapılır. Bu kısıt sayesinde, herhangi bir vardiyada çalışmayan üretim hattına daha sonraki vardiyalar için bir mamul atandığında gerekecek sıra bağımlı hazırlık işlemi, hattın çalışmadığı vardiyaların herhangi birinde yapılabilir. O nedenle, sadece ardışık vardiyalara mamul ataması yapıldığında sıra bağımlı hazırlık süresi vardiya süresinden düşülecektir. (2) ve (3) nolu kısıtlar ile daha önce tanımlanmış olan x_{ijkl} ve y_{jkl} karar değişkenleri arasında ilişki kurulur. Kısıt (4)'e göre, kullanılan iş gücü miktarı vardiyalık iş gücü miktarını aşmamalıdır.

Kısıt (5) ve (6) ile mamullerin, ara mamullerinin tesise gelmesi planlanan andan sonrası için çizelgenmesi sağlanmaktadır. (5) nolu kısıt, yalnızca sıfır anında elimizde olan ara mamullerin ilk vardiyaya atanmasına olanak tanımaktadır. (6) nolu kısıt ise birinci vardiya dışındaki vardiyalara atama yapılırken üretim tesisine gelmemiş ara mamullerin atanmasını engellemek amacıyla modelde yer almaktadır. Kısıt (7) ile mamullerin üretimlerinin yapılamadığı hatlara atanmaları engellenmektedir. Kısıt (8) ile bakım, arıza gibi nedenlerle çalışmayacak olan hat veya hatlara ilgili vardiyalarda atama yapılması engellenmektedir. Kısıt (9) ile resmi tatil, milli bayram gibi nedenlerle atama yapılması istenmeyen vardiyalara atama yapılması engellenmektedir. Kısıt (10) ile bir üretim hattına aynı vardiyada en fazla bir mamul atanması garantilenir. Kısıt (11) ile bir mamul çeşidinin aynı vardiyada en fazla iki farklı üretim hattına atanması sağlanır. Kısıt (12), bütün mamullerin farklı hatlardaki

tamamlanma sürelerinin bir vardiyalık çalışma süresi olan 480 dakikanın katları olmasını sağlar. Herhangi bir vardiyada bazı sebeplerle 480 dakika boyunca çalışılmayacaksa bile bir sonraki vardiya yine aynı saatte başlayacağı için tamamlanma zamanları 480 dakikanın katları şeklinde modele yansıtılmıştır. Bir mamulün tamamlanma zamanı, o mamulün farklı hatlardaki üretimini tamamlanma zamanları içinden en büyüğüne eşittir. Bu kısıt, (13) ile sağlanır. Kısıt (14)'e göre, planlama uzayındaki 1. hattaki son mamulün tamamlanma zamanı, her mamulün o hattaki tamamlanma zamanından büyük veya eşittir. Kısıt (15) ile mamüllerin eğer varsa gecikme süreleri hesaplanır. Kısıt (16), stok yaşını ve stok miktarını küçültmek için ara mamulün tesise geldiği andan mamul olarak çıktığı ana kadar geçen sürenin (kritik stok yaşının) belirli bir süreden küçük olması hedefine ait kısıttır. Çalışmada bu süre 10 gün olarak alınmıştır. Kısıt (17), yok satmayı engelleme hedefine ait kısıttır. Kısıt (18), her mamulün üretimi için katlanılacak maliyetlerin (saatlik işçilik ücretleri) ilgili mamul için ayrılmış olan bütçeyi aşmaması hedefine ait kısıttır. Kısıt (19), işlerin gereğinden fazla boşluklu atanmasını engellemek amacıyla her hattaki son mamulün tamamlanma zamanının enküçüklenmesi hedefine ait kısıttır. Son mamulün tamamlanma zamanı için hedeflenen zaman 2.haftadır. Burada iki hafta olan zaman dilimi; haftalık 6 işgünü, günlük 3 vardiya ve vardiyalık 480 dakika çalışma süresi üzerinden gidilerek dakikaya çevrilir. Kısıt (20), hazırlık sürelerinin 0 olması hedefine ait kısıttır. (21)-(27) numaralı kısıtlar, karar değişkenlerine ait işaret kısıtlarıdır. Amaç (28), tüm hedeflerden istenmeyen yöndeki sapmaların toplamının enküçüklenmesidir. Burada, bütçe hedefinden olan sapmanın diğer sapmalar gibi süre cinsinden olabilmesi için ücret parametresine oranlanmıştır. Ayrıca, her hatta üretilen son mamulün tamamlanma zamanından (cm_{ax}) olan pozitif sapmanın diğer sapmalarla aynı basamak sayısına sahip olması için 0,10 katsayısıyla çarpılmıştır.

2.2 Hedef Programlama Modelinin Çözüm Sonuçları

Hedef programlama modeli, tamsayı ve doğrusal problemlerin çözümünde kullanılan GAMS/CPLEX

çözücü yardımıyla çözümlenmiştir. Problemin çözümünde kullanılan matematiksel modelin tutarlılığı, öncelikle küçük boyutlu problem üzerinde test edilmiştir. Gıda işletmesinde işlenen ara mamullerden dört tanesi ve tesisin 2 hattı baz alınarak problem küçültülmüş, sadece 2 paralel hat ve 4 mamul, 10 vardiya için çizelgeleme işlemi yapılmıştır. Ambalajlanan 4 ara mamule ait işlem süreleri (p_j), her mamulün üretimi için ayrılan bütçeler ($butce_j$), teslim zamanları (d_j), her mamulden üretilecek olan miktarlar ($talep_j$), mamullerin hatlarda gerektirdiği işçi sayıları ($e_{j,1}$), ara mamullerin serbest bırakma zamanları (r_j) ve hatların sıra bağımlı hazırlık süreleri ($s_{i,j}$) aşağıda verilmiştir.

Mamul	p_j	$butce_j$	d_j	$talep_j$	$e_{j,1}$	$e_{j,2}$	r_j
1	5	100	3000	500	4	0	0
2	4	150	6000	200	3	5	480
3	6	150	5000	150	5	6	960
4	2	400	5000	330	0	2	0

$s_{i,j}$	1	2	3	4
1	0	24	12	15
2	24	0	23	20
3	12	23	0	30
4	15	20	30	0

Örneğin; 3 nolu mamulden sonra 2 nolu mamulün üretimine geçebilmek için hatta 23 dakika hazırlık süresi gereklidir. 1 nolu mamul ikinci hatta, 4 nolu mamul birinci hatta üretilememektedir. Her iki hattın arıza oranı 0,01 ve tüm vardiyaların çalışma süreleri 480 dakikadır. Ayrıca, işçilik ücreti 10 br/işçi olarak alınmıştır.

$$enkz = \sum_{j=1}^n s_1^+(j) + \sum_{j=1}^n s_2^+(j) + \frac{\sum_{j=1}^n s_3^+(j)}{ucret} + 0,10 * \sum_{l=1}^m s_4^+(l) + s_5^+$$

Yukarıdaki amaç fonksiyonu ve parametreler doğrultusunda GAMS çözücüsünün bulunduğu sonuç şöyledir:

1.Hat	1	1	1	1	1	1			
2.Hat	4	4	2	2	3	3			

Hedef programlama mantığı doğrultusunda amaç fonksiyonunda yer alan hedeflerin ağırlığı değişikçe model önem derecesi (ağırlığı) fazla olan hedeflere ulaşacak şekilde yeni çözümler türetecektir. Aşağıda bunun örnekleri verilmektedir:

$$enkz = \sum_{j=1}^n s_1^+(j) + \sum_{j=1}^n s_2^+(j) + \frac{\sum_{j=1}^n s_3^+(j)}{ucret} + 0,10 * \sum_{l=1}^m s_4^+(l) + 10 * s_5^+$$

Amaç fonksiyonunda görüldüğü gibi, sıra bağımlı hazırlık sürelerinin toplamından olan sapmanın önemi 10 kat artırılmıştır. Model, amaç fonksiyonunun değerini en küçükmeye çalıştığından öncelikli olarak bu sapmayı küçükmeye çalışacaktır. Bu amaç fonksiyonu ile model GAMS/CPLEX çözücüsünde tekrar çözdürüldüğünde aşağıdaki sonuç elde edilmiştir:

1.Hat	1	1	1	1	1	1	3		
2.Hat	4	4		2	2		3		

Önceden de belirtildiği gibi, sadece ardışık vardiyalarda sıra bağımlı hazırlık süresi vardiyaya süresinden düşülecektir. Eğer bir vardiya boşsa bir sonraki vardiyada üretilecek mamul için gerekecek hazırlık, boş vardiyada yapılabilir. Model bunu dikkate alarak 1.hatta 1.mamulden 3.mamule geçişte gerekecek hazırlık süresi dışındakileri ortadan kaldırmıştır. Bu sefer de, 1.ve 2.hatlardaki son işlerin tamamlanma zamanı artmıştır.

$$enkz = \sum_{j=1}^n s_1^+(j) + \sum_{j=1}^n s_2^+(j) + \frac{\sum_{j=1}^n s_3^+(j)}{ucret} + 0,10 * \sum_{l=1}^m s_4^+(l) + 100 * s_5^+$$

Sıra bağımlı hazırlık sürelerinin toplamından olan sapmanın önemi 100 kat artırıldığında ise GAMS/CPLEX çözücüsü aşağıdaki sonucu yansıtmıştır:

1.Hat	1	1	1	1	1	1			
2.Hat	4	4		2	2		3	3	

Önem derecesi daha da artırıldığında görüldüğü gibi sıra bağımlı hazırlık süreleri toplamı sıfırlanmıştır. Şirket politikaları gereği önemli olan hedefe göre amaç fonksiyonu ağırlıklandırılabilir.

Matematiksel modelin GAMS çözücüsünde küçük boyutta problemleri başarılı bir şekilde çözdüğü gözlemlendikten sonra modelin tutarlılığı orta boyutlu bir problemde test edilmiştir. Orta boyutlu problem, 2 üretim hattı, 8 mamul ve 15 vardiya olarak belirlenmiş ve gereken parametreler küçük boyutlu modeldeki mamullerin yeni indis numaraları ile farklı mamuller gibi girilmesiyle oluşturulmuştur. Orta boyutlu problemdeki eşdeğer mamuller şöyledir:

Küçük Boyutlu Problemdeki Mamul	Orta Boyutlu Problemdeki Eşdeğer Mamul
1 nolu mamul	5 nolu mamul
2 nolu mamul	6 nolu mamul
3 nolu mamul	7 nolu mamul
4 nolu mamul	8 nolu mamul

Küçük boyutlu problemde kullanılan 4 mamul orta boyutlu problemde de kullanıldığı gibi buna ek olarak diğer 4 mamul mevcut 4 mamulün parametreleri kullanılarak türetilmiştir. Örneğin, 1 nolu mamul orta boyutlu problemdeki yeni 5 nolu mamulle aynı parametrelere (p_j , d_j , $talep_j$ gibi) sahiptir. Bu eşdeğer mamuller arasındaki geçişlerde herhangi bir hazırlık süresi gerekmemektedir.

$$enkz = \sum_{j=1}^n s_1^+(j) + \sum_{j=1}^n s_2^+(j) + \frac{\sum_{j=1}^n s_3^+(j)}{ucret} + 0,10 * \sum_{l=1}^m s_4^+(l) + s_5^+$$

Orta boyutlu problem yukarıdaki amaç fonksiyonu altında GAMS çözücüsünde çözdürülmüş ve 80 dk süren çözüm süresinin ardından GAMS çözücüsü en iyi çözümü bulmuştur. GAMS çözücüsünün bulunduğu çözüm aşağıda gösterilmiştir;

1.Hat	2	6	2	6	4	8	1	1	1	5	5	5			
2.Hat	7	7	3	3	4	8	1	1	1	5	5	5			

Çözüm sonucu incelendiğinde; çözücünün, amaç fonksiyonunda istendiği gibi birbirleriyle eşdeğer maddeleri peş peşe atayarak hazırlık sürelerini önlemeye ve hedefleri gerçekleştirmeye çalıştığı gözlemlenmiştir.

Eti Şirketler Grubu gizlilik politikaları nedeniyle, üretim tesisine ait 84 vardiya büyüklüğünde bir tam çizelge yerine 42 vardiya büyüklüğünde örnek bir çizelge incelenmiştir. 44 mamul, 17 hat, 42 vardiya-dan oluşan gerçek boyutlu ETİ Şirketler Grubu üretim tesisi problemi için ilgili parametreler girildiğinde; Intel® Core™ 2 Quad CPU Q8400@2,66 GHz 3,49 GB RAM özelliklere sahip bir bilgisayarın GAMS IDE 20.2.8.0 Versiyonun CPLEX çözücüsü, çözüm uzayının büyüklüğünden dolayı problemi çözememiştir. Bu noktada da sezgisel yöntemlere başvurmanın gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

3. ÜRETİM ÇİZELGELEME PROBLEMİ İÇİN GELİŞTİRİLEN GENETİK ALGORİTMA

Ele alınan problem, NP-zor sınıfta yer almaktadır. NP-zor problemler, çözüm zamanı problemin büyüklüğüne bağlı olarak üstel artış gösteren ya da bilinen eniyileme metotlarıyla çözülemeyen problemlerdir. Bu nedenle, ele alınan problemin gerçek hayatta karşılaşılan boyutlara sahip örneklerine analitik metotlar ile çözüm bulunamamaktadır. Bu nedenle, sezgisel bir yöntem ya da yapay zeka tekniklerinden birisine gereksinim duyulmaktadır. Bu çalışmada, problemin çözümü için literatürdeki başarıları dikkate alınarak yapay zeka tekniklerinden birisi olan genetik algoritma (GA) geliştirilmesine karar verilmiştir.

Genetik algoritmalar, Holland (1975) tarafından biyolojik evrim sürecinden hareketle önerilmiştir. Genetik algoritmaların, fonksiyon eniyilemesi, çizelgeleme, mekanik öğrenme, tasarım, hücresel üretim gibi alanlarda başarılı uygulamaları bulunmaktadır. Geleneksel eniyileme yöntemlerine göre farklılıkları olan genetik algoritmalar, parametre kümesini değil

kodlanmış biçimlerini kullanırlar. Olasılık kurallarına göre çalışan genetik algoritmalar, yalnızca amaç fonksiyonuna gereksinim duyar. Çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tararlar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar (Goldberg, 1989). Diğer bir önemli üstünlükleri ise, çözümlerden oluşan popülasyonu eş zamanlı incelemeleri ve böylelikle yerel en iyi çözümlere takılmamalarıdır. Genetik algoritma tek bir çözüm yerine aynı anda birden fazla sayıda çözümü değerlendirir. Bu özellik, genetik algoritmanın paralel arama özelliği olarak nitelendirilir (Emel ve Taşkın, 2002).

Klasik bir GA'nın Adımları

0. Uyum fonksiyonunu kur, kromozomdaki bilgiyi kodla, parametreleri belirle.

1. İlk topluluğu belirle.
2. Yeni bireylerin başarı fonksiyonunu hesapla.
3. Başarı ile orantılı seçme şansı ver.
4. Bu şansa bağlı olarak bir çift birey seç. (KOPYALAMA)
5. Bunları rassal çaprazlama noktasına göre ÇAPRAZLA.
6. Mutasyonun sırası gelmediyse 8'e atla.
7. Rassal bir noktadan MUTASYON uygula.
8. Yeterli sayıda kuşak yetiştirildiyse DUR. Aksi halde 2'ye DÖN. (İşler, 1995)

3.1 Geliştirilen Genetik Algoritma

Geliştirilen GA'nın kromozom yapısı ve adımları izleyen başlıklarda ele alınmıştır.

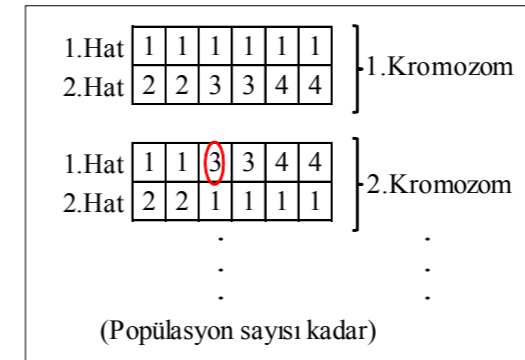
3.1.1 Kromozomun Yapılandırılması

Tasarlanan genetik algoritma için kromozom yapılandırılırken problemin sahip olduğu kısıtlar ve özellikler göz önünde bulundurulmuş ve bunları sağlayabilecek bir kromozom yapısı oluşturulmuştur. Kromozomun sağlanması istenilen kısıtlar ve özellikler aşağıda belirtilmiştir.

- Vardiyalık atama yapılmalıdır.
- Herhangi bir üretim hattına herhangi bir vardiya boyunca en fazla 1 mamul atanabilir.
- Kromozomu oluşturan gene bakıldığında hangi mamulün, hangi vardiyada, hangi üretim hattına atanmış olduğu görülebilmelidir.
- Tasarlanan kromozom yapısı çaprazlama, mutasyon gibi genetik operatörlerin kullanılmasına kolaylık sağlayabilmelidir.

Bu amaçlar doğrultusunda bir kromozom yapısı tasarlanmış, geriye kalan diğer kısıtlar ilk neslin oluşturulması aşamasında sağlanmıştır. Her bir kromozom, tüm hatları temsil etmektedir. Bir mamulün hangi hattın hangi vardiyasına atandığı bilgisi genler aracılığıyla belirtilmektedir.

Gen (Kromozom, Hat, vardiya) = mamul şeklinde tasarlanmıştır. Örnekleyecek olursak;



Bu örnekte, Gen (2,1,3) = 3'tür. Yani, 2. Kromozomda 1. Hattın 3. Vardiyasına 3 nolu mamul atanmıştır.

3.1.2 Geliştirilen Genetik Algoritmanın Adımları

Problemin çözümü için geliştirilen genetik algoritmanın adımları Şekil 1'deki akış şemasında verilmiştir. Akıştaki her bir sürecin nasıl gerçekleştiği izleyen kısımlarda detaylıca anlatılmıştır.

İlk Neslin Türetilmesi Yöntemi: Bütün kısıtları sağlayacak şekilde geliştirilmiş olan ilk neslin türetilmesi yönteminin adımları şöyledir:

Adım 1) Hangi mamullere talep olduğuna bakılarak atanacak mamuller listelenir.

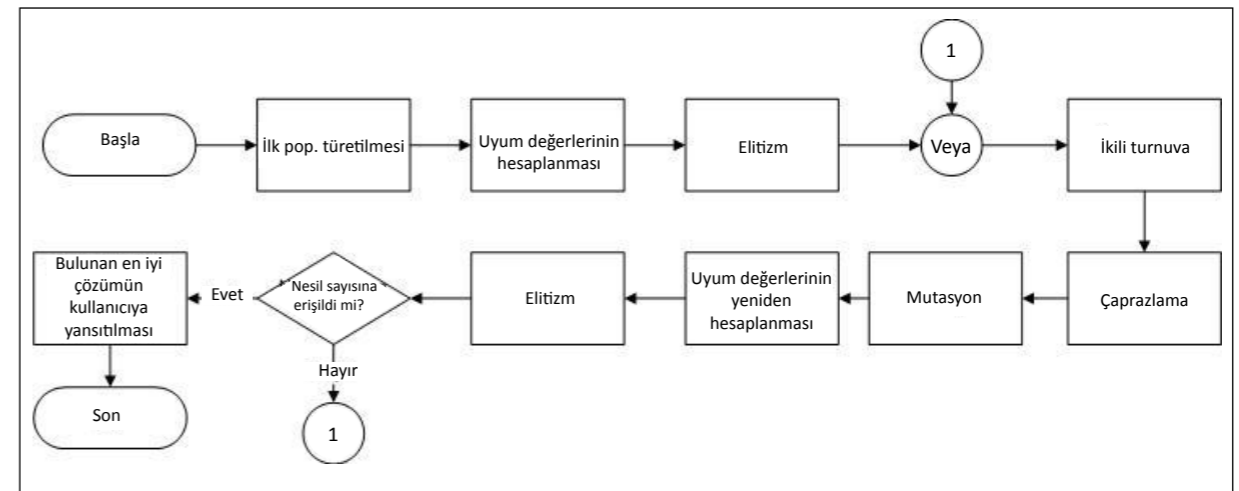
Adım 2) Atanacak mamuller listesinde mamul var mı bakılır. Eğer atanacak mamul kalmadıysa ilk neslin türetilmesi sonlandırılır.

Adım 3) Atanacak mamuller listesinden rassal olarak bir mamul seçilir.

Adım 4) Bu mamulü üretebilen hatlar listesinde uygun hat var mı bakılır. Uygun hat bulunamaması durumunda; mamul, atanacak mamuller listesinden çıkarılır ve Adım 2'ye geçilir.

Adım 5) Bu mamulü üretebilen hatlar listesinden rassal olarak bir hat seçilir.

Adım 6) Adım 5'te seçilmiş olan hatta, mamulün atanabileceği vardiya mevcut mu bakılır. Mevcut ise Adım 8'e, mevcut değil ise Adım 7'ye gidilir.



Şekil 1. Geliştirilen Genetik Algoritma Akış Şeması

Adım 7) Adım 5'te seçilmiş olan hat, Adım 3'te seçilmiş olan mamulü üretebilen hatlar listesinden çıkarılır ve Adım 4'e gidilir.

Adım 8) İlgili vardiya seçilir.

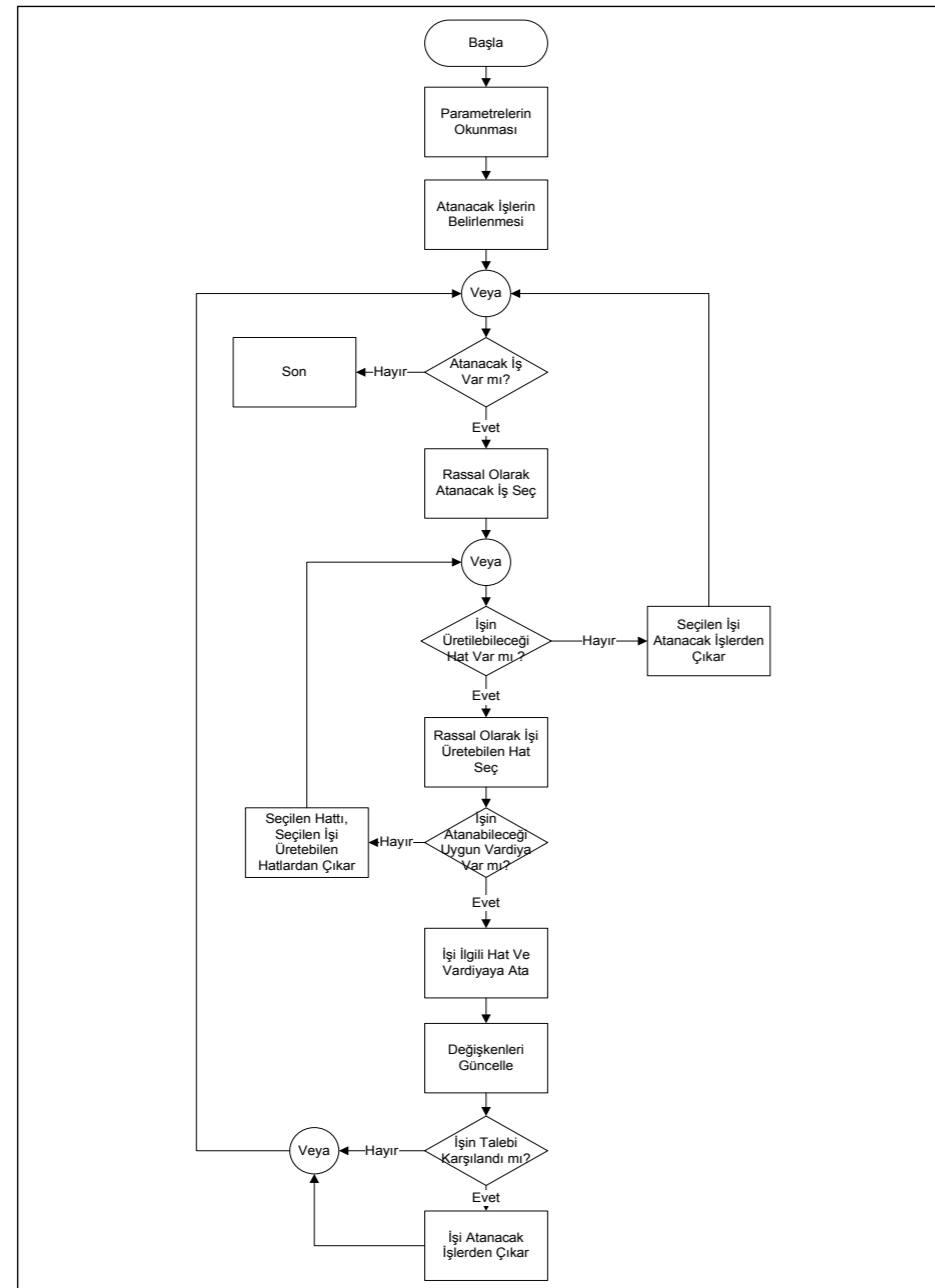
Adım 9) Seçilmiş olan mamul, seçilmiş olan üretim hattına ve vardiyaya atanır.

Adım 10) Değişkenler güncellenir (genler vs.).

Adım 11) Atama sonucunda mamulün talebi karşılandı mı bakılır. Eğer talep karşılanmışsa mamul, atanacak mamuller listesinden çıkarılır.

Adım 12) Adım 2'ye geçilir.

İlk neslin türetilmesi yöntemini adımları Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2. İlk Neslin Türetilmesi Yöntemine Dair Akış Şeması

İkili Turnuva Yöntemi: Geliştirilen genetik algorithmada seçim yöntemi olarak literatürde sık kullanılan İkili Turnuva yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde göre, rassal iki kromozom seçilir. Bu kromozomlardan uyum değeri en iyi olan saklanır. En iyi uyum değeri; en küçükleme problemleri için en küçük, enbüyüklemeye problemleri için ise en büyük uyum değeridir. Bu yöntemle, popülasyon sayısı korunduğu gibi güçlü (başarılı) kromozomlar üretilmiş olur.

Adım 1) Rassal olarak iki kromozom belirlenir.

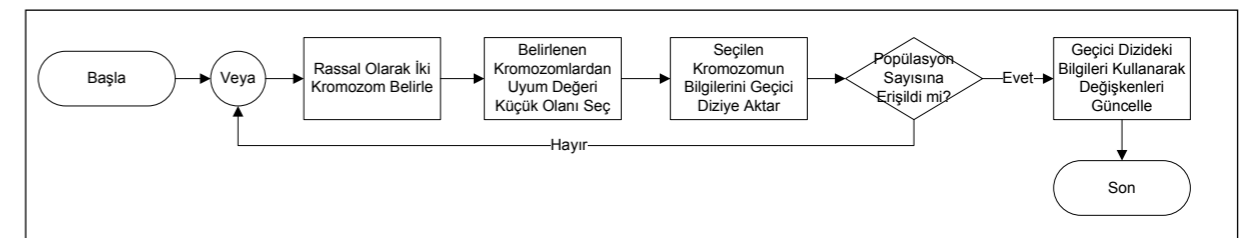
Adım 2) Belirlenen iki kromozomdan uyum değeri küçük olan seçilir.

Adım 3) Seçilen kromozomun bilgileri geçici diziyeye aktarılır.

Adım 4) Popülasyon sayısı kadar Adım 1 ile Adım 3 arası tekrar ettirilir.

Adım 5) Geçici dizideki kromozom bilgileri gerçek popülasyona aktarılır. Böylelikle, değişkenler güncellenmiş olur.

İkili turnuva yönteminin adımları Şekil 3'te özetlenmiştir.



Şekil 3. İkili Turnuva Yöntemine Dair Akış Şeması

Elitizm Yöntemi: Elitizm, genetik operatörler uygulanmadan önce topluluğun en iyi birey ya da bireyleri bulunarak hafızada tutma ve gelecek nesle bu birey ya da bireyleri değiştirmeden aktarmaya yarar. Bu ünlü strateji, genetik algoritmanın performansını geliştirmede oldukça başarılıdır. Geliştirilen genetik algorithmada Elitizm Yöntemi şu şekilde kullanılmıştır:

Adım 1) İlk nesil sonucu elde edilen en küçük uyum değerli kromozom seçilir.

Adım 2) Seçilen kromozomdaki bilgiler (genler) ve uyum değerleri saklanır.

Adım 3) Çaprazlama ve mutasyon sonrası elde edilen kromozomlar arasında, saklanan kromozomdan daha küçük uyum değerine sahip olan bir kromozom varsa, bu kromozomun bilgileri saklanan kromozom bilgilerinin üzerine aktarılır ve saklanır.

Adım 4) Saklanan kromozom bilgileri bir sonraki neslin ilk kromozomunun üzerine yazdırılır.

Adım 5) Adım 3 ve Adım 4 nesil sayısı boyunca tekrar eder.

Çaprazlama Yöntemi: Ele alınan problem için özgün bir çaprazlama operatörü geliştirilmiştir. Geliştirilen çaprazlama operatörü, probleme dair özellikler içermektedir. Operatör, iki kromozomdan tek bir kromozom üretmektedir. Yöntemin adımları aşağıda verilmiştir:

Adım 1) Her bir kromozom için 0-1 aralığında rassal sayı türetilir.

Adım 2) Rassal sayı değeri, belirlenen çaprazlama değerinden küçük olanlar geçici diziyeye aktarılır.

Adım 3) Geçici diziyeye aktarılan kromozomlar tek sayıda ise dizinin son kromozomu çıkarılır.

Adım 4) Dizideki ilk iki kromozom seçilir.

Adım 5) Rassal olarak bir hat seçilir.

Adım 6) Seçilmiş iki kromozomdan birincisinde, ilgili hatta mamullerin hangi vardiyalarda bulunduğu bilgisi alınır.

Adım 7) Seçilmiş iki kromozomdan ikincisinde, aynı hattaki mamullerin vardiyaları kısıtları sağlıyorsa

birinci kromozomdaki gibi değiştirilerek çaprazlama işlemi gerçekleştirilir.

Adım 8) 0-1 arası rassal sayı türetilir.

Adım 9) Türetilen sayı 0,5'ten küçük ise çaprazlanmış olan bu kromozom daha önceden Adım 4'te seçilmiş olan iki kromozomdan ilkinin üzerine, diğer durumda ise ikinci kromozomun üzerine yazılır.

Adım 10) Eğer geçici dizide hâlâ çaprazlanacak kromozom çifti varsa bir sonraki kromozom çifti seçilerek Adım 5'e gidilir, yoksa Adım 11 ile devam edilir.

Adım 11) Çaprazlama sonucu elde edilen kromozomlar gerçek popülasyona aktarılır.

Mutasyon Yöntemi: Bu çalışmada genleri mutasyona uğratmak için rastgele seçilen iki genin karşılıklı yer değiştirmesi yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin adımları aşağıda verilmiştir:

Adım 1) Her bir kromozom için 0-1 aralığında rassal sayı türetilir.

Adım 2) Kromozomlardan mutasyon değeri önceden belirlenmiş olan mutasyon oranından küçük olanlar geçici diziyeye aktarılır.

Adım 3) Geçici dizideki ilk kromozom seçilir.

Adım 4) Rassal bir hat seçilir.

Adım 5) Seçilen hatta rassal iki vardiya seçilir.

Adım 6) Seçilen iki vardiyadaki mamuller kısıtları sağlayacak şekilde birbirleriyle yer değiştirebiliyorsa yer değiştirilir ve Adım 9'a geçilir.

Adım 7) Seçilen iki vardiyadaki mamuller birbirleriyle yer değiştiremiyorsa vardiyalardan ilki sabit tutularak ikinci vardiya değiştirilir. Bu adım, değiştirilebilir iki mamul bulunana kadar veya tüm vardiyalar denenene kadar tekrar eder. Eğer değiştirilebilen iki mamul bulunamazsa Adım 9'a geçilir.

Adım 8) Adım 7 sonrası bulunan iki mamul yer değiştirilir.

Adım 9) Geçici dizide mutasyona uğratılacak başka kromozom varsa seçilir ve Adım 4'e gidilir.

Adım 10) Mutasyon sonucunda kromozomlar ve değişkenler güncellenir.

3.2 Küçük ve Orta Boyutlu Problem İçin Genetik Algoritma ile Elde Edilen Çözüm Sonuçları

Geliştirilen genetik algoritmanın başarısı, daha önce GAMS/CPLEX çözücüsünde matematiksel modelin başarısını ölçmek için tasarlanmış olan küçük ve orta boyutlu problemler kullanılarak sınanmıştır. Algoritma Visual Basic 6.0 programında kodlanmıştır.

Genetik algoritmaların parametreleri, algoritmaların başarısı üzerinde oldukça büyük bir etkiye sahiptir. Bu sebeple, geliştirilen algoritmanın parametreleri belirlenirken her parametrenin her düzeyi için altı deneme yapılmış ve geliştirilen algoritmanın popülasyon sayısı 200, çaprazlama oranı 0,75, mutasyon oranı 0,01, nesil sayısı 1000 iken en başarılı şekilde çalıştığı belirlenmiştir.

Küçük boyutlu problem için çözüm sonucu aşağıdaki gibidir;

1.Hat	1	1	1	1	1	1				
2.Hat	4	4	2	2	3	3				

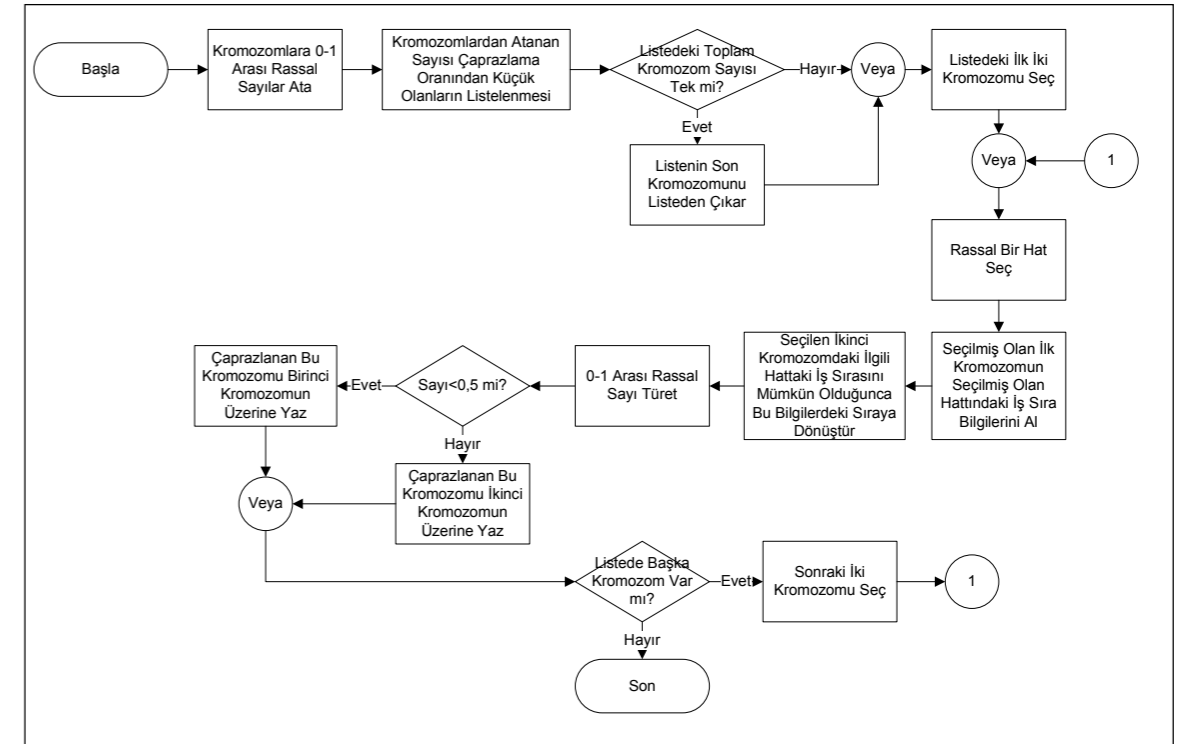
Orta boyutlu problem için çözüm sonucu aşağıdaki gibidir;

1.Hat	2	6	2	6	4	8	1	1	1	5	5	5		
2.Hat	7	7	3	3	4	8	1	1	1	5	5	5		

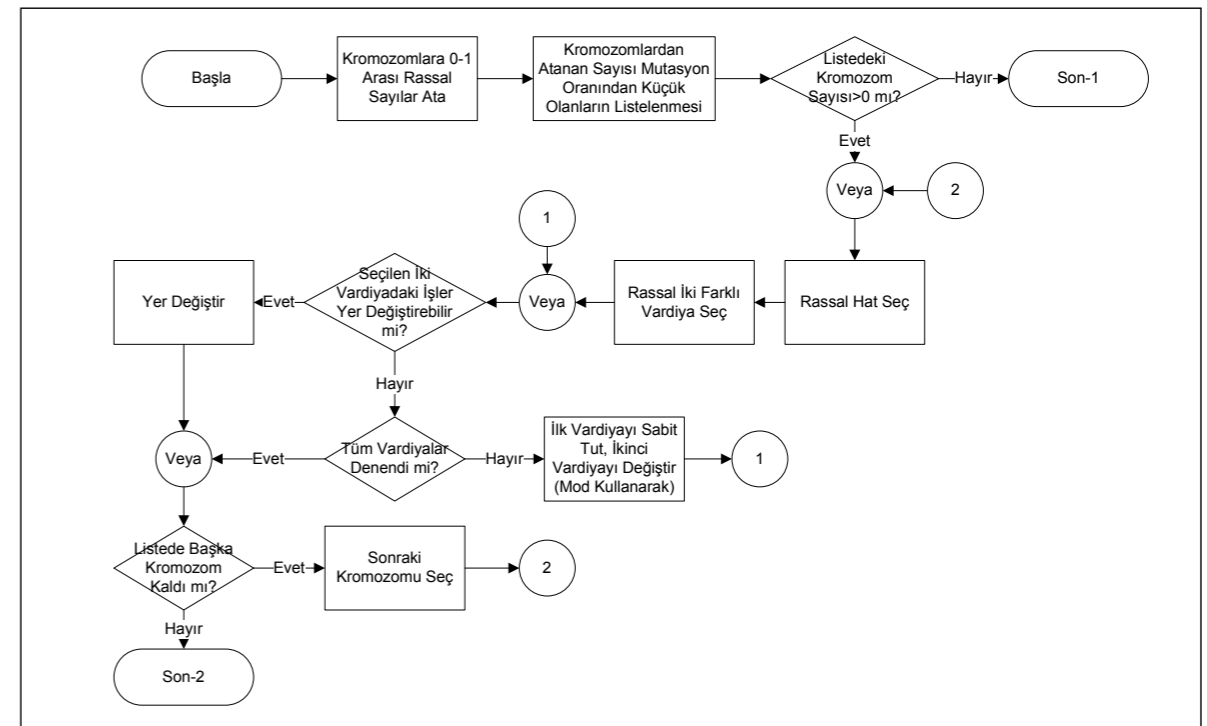
Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, geliştirilen genetik algoritmanın her iki problemde de belirlenen hedefler doğrultusunda en iyi çözümüne eriştiği gözlemlenmiştir.

Türetilen küçük, orta ve büyük boyutlu problemler için GAMS ve Genetik Algoritma ile elde edilen çözüm sonuçları Tablo 1'de topluca verilmiştir.

Tablo 1'den de görülebileceği gibi, matematiksel model ile küçük boyutlu ve orta boyutlu problemlerin her ikisi için de sırasıyla 2 saniye ve 80 dakika içinde belirlenen hedefler doğrultusunda en iyi çözüme



Şekil 4. Çaprazlama Yöntemine Dair Akış Şeması



Şekil 5. Mutasyon Yöntemine Dair Akış Şeması

Tablo 1. Türetilmiş Problemlere ait Matematiksel Model ve GA_{ME} Çözümleri

	GAMS/CPLEX		GA _{ME}	
	Z	Süre	Z	Süre
Küçük Boyutlu Problem (2 Hat-4 Mamul-10 Vard.)	633	2 sn	633	2 sn
Orta Boyutlu Problem (2 Hat-8 Mamul-15 Vard.)	10620	80 dk	10620	1,5 dk
Büyük Boyutlu Problem (17 Hat-30 Mamul-84 Vard.)	Çözemedi		13833	70 dk

ulaşmıştır. Büyük boyutlu problem için ise çözüm elde edilememiştir. Geliştirilen GA ise, hem küçük ve orta boyutlu problemin matematiksel model ile elde edilen en iyi değerlerine GAMS' den çok daha kısa bir süre içinde erişebilmektedir; hem de GAMS ile çözüm bulunamamış olan büyük boyutlu probleme makul bir süre içinde başarılı bir çözüm üretebilmektedir.

3.3 Gerçek Boyutlu Problemin GA Çözümü ile Karşılaştırılması

Eti Şirketler Grubu gizlilik politikaları nedeniyle üretim tesisine ait 42 vardiya büyüklüğünde örnek bir çizelge tarafımıza verilmiştir. Verilen çizelgenin boyutu; 44 çeşit mamul, 17 üretim hattı ve 42 vardiya oluşmaktadır. Bu boyuttaki bir problemi GAMS programının CPLEX çözücüsü çözmemiş, geliştirilen genetik algoritmada çözüm aranmıştır.

Mevcut çizelgenin atamaları, geliştirilen modelin amaç fonksiyonunda yerine konarak $z=203737$ bulunmuştur. Aynı çizelge parametreleri kullanılarak problem geliştirilen genetik algoritmada popülasyon sayısı 200, çaprazlama oranı 0,75, mutasyon oranı

0,01 ve nesil sayısı 1000 iken iki kere çözdürülmüş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

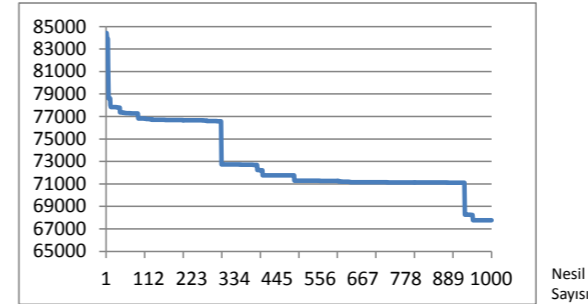
Mamul sayısındaki artış, çözüm süresini uzatmıştır. Fakat, mevcut durumda yaklaşık 16 saat olan iki haftalık üretim çizelgesini hazırlama süresinin yanında, geliştirilen genetik algoritmanın yaklaşık üç saatlik çözüm süresi oldukça makuldür. Amaç fonksiyonu değeri açısından iki denemede en iyi 67761 değeri z bulunmuştur; yani, amaç fonksiyonunda % iyileşme=

$$\text{iyileşme} = \frac{203737 - 67761}{203737} = \% 67 \text{ sağlanmıştır.}$$

Bu iyileşmeyi sağlayan 2.deneme dikkate alındığında; algoritmanın ilk nesilde en iyi kromozomunun amaç fonksiyonu değerini 84431 olarak bulduğu;, 1000 nesil boyunca operatörler yardımıyla bu değeri iyileştirerek 67761 nihai değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Nesiller boyu iyileşmenin grafiği çizilerek çarpıcı bir iyileşme olduğu görülmüştür. Her bir hedefe yönelik sapmalar, mevcut çözüm ve geliştirilen GA çözümü için Tablo 3'teki gibi hesaplanmıştır:

Tablo 2. GA ile Elde Edilen Gerçek Boyutlu Problem Çözümleri

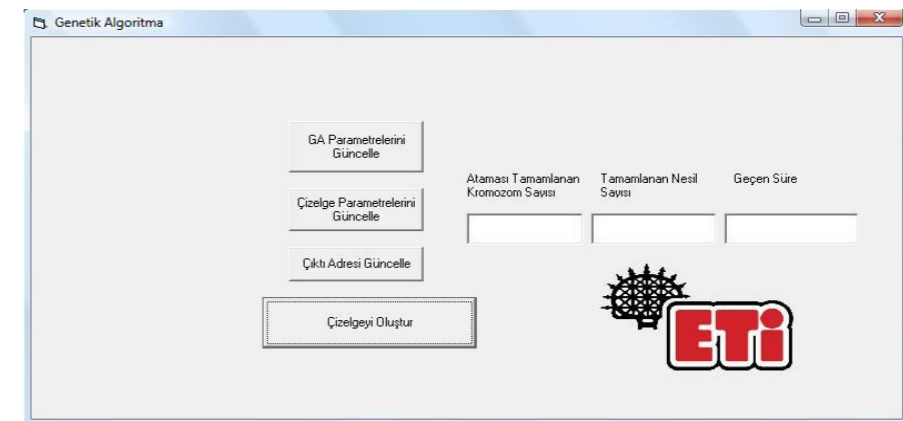
	GAMS/CPLEX	GA _{ME}		
			Z	Süre
Gerçek Boyutlu Problem (17 Hat-44 Mamul-42Vard.)	Çözemedi	1.Deneme	71549	178 dk
		2.Deneme	67761	170 dk

**Şekil 6.** Geliştirilen GA'ya Ait Nesiller Boyu İyileşme Grafiği**Tablo 3.** Hedeflerden Sapmaların Karşılaştırılması

Sapmalar	Kritik Stok Yaşı $[\sum_{j=1}^n s_1^+(j)]$	Gecikme $[\sum_{j=1}^n s_2^+(j)]$	Bütçe $[\frac{\sum_{j=1}^n s_3^+(j)}{ucret}]$	Tamamlanma zamanı $[0,10 \sum_{l=1}^m s_4^+(l)]$	Hazırlık süresi $[s_5^+]$
Mevcut Çözüm	192480	0	0	9648	1609
GA _{ME} Çözümü	60000	480	0	5376	1905
% İyileşme	% 69	-	-	% 44	-

Tablodan da anlaşılacağı gibi; büyüklükleri nedeniyle amaç fonksiyonunu en çok etkileyen sapmalar, kritik stok yaşı ve tamamlanma zamanı hedeflerinden olan sapmalar olmuştur. Bu nedenle, geliştirilen GA'nın amaç fonksiyonu bu sapmaları enküçükleyebilmek için toplam hazırlık süresini ve gecikmeyi biraz arttırmıştır. Bu iki hedef değerinin ağırlıkları, önemsenme derecelerine göre, kullanıcı tarafından artırılarak sapmaları enküçüklenilebilir.

GA Parametrelerini Güncelle Butonu: Bu butona basıldığında, kullanıcının genetik algoritmanın başarısıyla yakından ilgili olan çaprazlama oranı, mutasyon oranı, popülasyon büyüklüğü ve nesil sayısı gibi parametreleri değiştirebilmesi için GA parametre sayfası açılmaktadır. İlgili sayfa açıldığında, algoritma için tarafımızdan önerilen parametre değerleri 'varsayılan' olarak kullanıcıya yansıtılmaktadır. Şekil 8'de genetik algoritma parametre sayfasının görünümü verilmiştir.

**Şekil 7.** Genel Ekran Görünümü

Şekil 8. Genetik Algoritma Parametre Sayfası

Çizelge Parametrelerini Güncelle Butonu:

Bu butona basıldığında; kullanıcı, çizelgelenecek mamul sayısı, mevcut üretim hattı sayısı ve planlanacak vardiya sayısı gibi çizelgeleme parametrelerini görüntüler ve ihtiyaç halinde bu parametreleri değiştirerek farklı senaryolar test edebilir. Ayrıca, kullanıcı çizelgelemede kullanılacak olan mamul işlem süresi, talep bilgileri, hazırlık süreleri gibi diğer çizelge parametrelerinin hangi adresten alınacağını bu sayfa üzerinden algoritmaya belirtir. Şekil 9'da ilgili butona basıldığında açılan çizelge parametre sayfası verilmiştir.

Şekil 9. Çizelge Parametre Sayfası

Çıktı Adresi Güncelle Butonu: Bu butona basıldığında; kullanıcının oluşturulan çizelgenin kaydedileceği Excel dosyasının adresini girebileceği kutucuk açılır.

Çizelgeyi Oluştur Butonu: Gerekli olan tüm ayarlar yapıldıktan sonra; kullanıcı, çizelgeyi oluştur butonuna basarak algoritmayı çalıştırır. Atamalar yapılırken kullanıcı, genel ekran görünümündeki yapılan atama sayısı, tamamlanan nesil sayısı ve geçen süre değerlerine bakarak algoritmanın hangi aşamada olduğunu gözlemleyebilir. Algoritmanın çalışması sonlandığında; çizelge sonuçları daha önceden kullanıcı tarafından adresi belirtilmiş olan Excel dosyasına kaydedilir. Bu Excel dosyası ilk satırında haftaların, ikinci satırında vardiyaların ve ilk sütununda hatların sıralanacağı şekilde tarafımızdan önceden hazırlanmıştır. Şekil 10'da küçük boyutlu problemin çözüm sonuçlarının kaydedildiği Excel dosyası görünümü verilmiştir.

	1.Hafta Pzt			1.Hafta Salı			1.Hafta Çrş		
Hat	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	1	1	1	1	1			
2	4	4	2	2	3	3			
3									

Şekil 10. Excel Çizelge Sonuç Ekranı

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Eti Şirketler Grubu bünyesinde bulunan üretim tesisinde mamullerin hangi hatlarda, hangi sırayla üretilmesi gerektiğinin belirlendiği n mamul, m özdeş paralel makine çizelgeleme probleminin özel bir hali ele alınmıştır. Tesiste hâlihazırda kullanılan çizelgeleme yöntemini iyileştirebilmek amacıyla çalışma kapsamında makul zamanda başarılı çizelgeler üretmeyi sağlayacak bir çözüm yöntemi geliştirilmesi hedeflenmiştir.

İşletme politikaları ve kısıtları göz önünde bulundurulduğunda problemin çözümü için çok amaçlı yapıda bir hedef programlama modeli önerilmiştir. Önerilen modelin başarısının testi için küçük ve orta boyutlu

test problemleri türetilmiş, denemeler GAMS paket programının CPLEX çözücüsü üzerinden gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen hedef programlama modeli, küçük boyutlu problemin en iyi çözümüne kısa bir süre içinde ulaşmıştır. Orta boyutlu problemin en iyi çözümüne ulaşma süresinde ise küçük boyutlu test probleminin çözüm süresine kıyasla büyük bir artış gözlemlenmiştir. Gerçek boyutlu problemde ise GAMS paket programı ile çözüm elde edilememiştir.

Çalışmada ele alınan gerçek hayat problemine kesin çözüm yöntemiyle çözüm bulunamamış olması nedeniyle sezgisel algoritmalarla başvurulmuştur. Problemin çözümüne yönelik özgün bir çaprazlama operatörünü de içeren bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen genetik algoritmanın etkinliği daha önce hedef programlama modelinin etkinliğini test etmede kullanılan küçük ve orta boyutlu problemler üzerinde test edilmiş ve algoritmanın, GAMS tarafından bulunmuş en iyi çözümlere çok daha kısa sürede ulaştığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bu test sonuçları genetik algoritmanın başarılı çözümleri garantilediğini göstermektedir. Son olarak, gerçek boyutlu problem için genetik algoritma ile makul sürede çözüm üretilebilmiştir.

Yapılan çalışmanın Eti A.Ş. bünyesinde mevcut sisteme entegre edilmek üzere devreye alınması planlanmaktadır. Önerilen çözüm yaklaşımında çizelgeleme için gerekli verileri sistemin veri tabanlarından çekme işlemi otomatik yapılacak ve 'çizelgeyi oluştur' komutuyla uygun çizelge türetilacaktır.

Çalışma kapsamında geliştirilmiş olan genetik algoritma; süreci otomatize etmesi, hata riskini ortadan

kaldırması, başarılı sonuçlar elde etmeyi garantilemesi ve mevcut durumda harcanan süreye kıyasla oldukça makul bir sürede başarılı bir çözüm geliştirilebilmesi açısından önemlidir. Ayrıca çalışma, daha önce literatürde yer almayan bir problemi ele almış olması açısından da dikkat çekmektedir.

KAYNAKÇA

- Dengiz, B., Altıparmak, F. 1998. "Genetik Algoritmalar Genel Bir Bakış," Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Dergisi, 9 (3), s. 3.
- Emel, G., Taşkın, Ç. 2002. "Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları," Uludağ Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 21 (1), 129-152.
- Goldberg, D. E. 1989. "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning," Addison-Wesley, USA.
- Güldal, A. 1990. "Seri İş-Akışlı Atölye Çizelgelemede Sezgisel Teknikler," Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- İşlier, A. 1995. "İmalat Problemlerinde Genetik algoritmalar," Otomasyon Dergisi, Ocak, 94-98.
- Özkazanç, Ü. A. 1999. "Atölye Tipi Üretim Ortamında İşlerin Çizelgenmesi İçin Yapay Sinirsel Ağ Yaklaşımı," Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Paksoy, S. 2007. "Genetik Algoritmalar ile Proje Çizelgeleme," Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, Adana.
- Pinedo, M. 2002. Scheduling Theory, Algorithms and Systems, Prentice Hall, Second Edition, Upper Saddle River, New Jersey.
- Saraç, T. 2001. "Bir Kutu Fabrikası İçin Standart Kağıt Enlerinin Belirlenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dili, Eskişehir.