



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

## Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Tavlama Benzetimiyle Çözümünde Rassal Aramanın Katkısı

 Gökay Görkem GÜNDAY<sup>a,\*</sup>,  Nilgün FİĞLALI<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı, , Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

<sup>b</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi Kocaeli, TÜRKİYE

\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gorkemgokayg@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.1215635

### Öz

Üretim yapılan bir işletmede üretim planlama ve çizelgeleme, mevcut kaynakların verimli olarak kullanılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bazı işletmelerde bu planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinin başarısı bu faaliyetleri yapan kişinin öngörü ve deneyimlerini ne kadar kullanabildiğine bağlı olarak değişmektedir. Akış tipinde üretim yapan, birden çok ürün ve üretim ekipmanı bulunan ve farklı veya benzer rotalarda üretim yapan işletmelerde, işlerin manuel olarak çizelgelenmesi alternatif çözümlerin üretilmesi ve değerlendirilmesi sürecini zaman alıcı hale getirmektedir. Ayrıca çözümün optimum olma garantisi de bulunmamaktadır. Literatürde bu tür problemlerin optimum çözümü için çeşitli matematiksel programlama yöntemleri kullanılmaktadır. Problemdeki kısıtların, iş ve makine sayılarının artması durumunda makul sürede optimum veya optimuma yakın sonuçların elde edilmesi amacıyla sezgisel ve metasezgisel yöntemlere de ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada ilaç üretimi gerçekleştiren bir işletmedeki akış tipi çizelgeleme probleminin çözümü tavlama benzetimi yöntemiyle yapılmakta ve rassal arama süreçlerinin yöntem performansına etkileri incelenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Tavlama Benzetimi, Rassal Arama, Akış Tipi Çizelgeleme, İlaç Sektörü

## Contribution of Random Search on the Solution of Flow-Shop Scheduling Problems by Using Simulated Annealing

### ABSTRACT

Production planning and scheduling is very critical to use existing sources most efficiently in the production facilities. Many of the production facilities the performance of the planning and scheduling is based on the person how much using of foresight and experiences. The scheduling of works and creating alternative solutions on the production facility which has flow type production and has many products, production equipment and different production routes, by manually takes too much time. Moreover the solution is not guaranteed a optimum solution. There is a lot of various mathematical programming techniques are used on the previous studies. If the number of constraints, work and machines are increased the heuristic or meta heuristic techniques are need to be used for obtain optimum or close to optimum results with acceptable time. In this paper the solution of production scheduling is done with simulated annealing and the random search process performance impact is researched on the pharmaceutical company which has flow type production.

**Keywords:** Simulated Annealing, Random Search, Flow-Shop Scheduling, Pharmaceutical industry

# I. GİRİŞ

Kullanıcı ihtiyaçlarının günden güne çeşitlenerek artması, teknolojiadaki gelişmeler işletmeler arasındaki rekabeti daha zor olmasına neden olmuştur. İşletmeler değişen kullanıcı ihtiyaçlarını en hızlı ve en düşük maliyetlerle karşılayarak rekabet güçlerini arttırmayı hedeflemektedirler. Rekabet gücünü sürdürmek isteyen işletmelerde üretim alanlarında birden çok farklı kaynak ve üretim rotası kullanılmaktadır. Birden çok ürün, kaynak ve üretim rotasının olduğu karmaşık problemlerin çözümünde de yeni yöntemler sürekli araştırılmaktadır. Bir üretim işletmesinde genel amacı işi zamanında teslim etmek, üretimde işlem görmeyi bekleyen ara stokları mümkün olduğunca azaltmak, işin sistemdeki kalış süresini azaltmak, kaynakları verimli kullanmak, işi istenilen kalitede yapmak, makine hazırlık zamanlarını azaltmak ve üretimde işçi maliyetlerini azaltmak olarak sıralanabilir. Üretimin verimli olmasını sağlayan bu temel amaçların gerçekleşmesinde çizelgelemenin çok önemli rolü vardır.[1] Üretim sistemleri incelendiğinde çizelgeleme açısından beş farklı sınıflandırmanın yapılabileceği görülmüştür. Bu beş farklı sınıf sırasıyla, proje planlaması, tek/paralel/atölye tipi çizelgeleme problemleri, otomatik malzeme transferine odaklanmış, lot çizelgeleme modelleri, tedarik zinciri çizelgeleme modelleridir.

Yukarıda sıralanan beş listeden ikinci tip çizelgeleme modelleri tek makine, paralel makine ve atölye tipi üretimleri içermektedir. Tek makine veya paralel makine problemlerinde işler herhangi bir makinede yapılabilmektedir. Atölye tipindeki işler çizelgelenirken toplam tamamlanma süresini en küçük olması, geciken siparişlerin sayılarını en az olması gibi bir veya daha fazla amaç optimize edilmektedir. Genellikle özel donanımların üretiminin yapıldığı üretim sektörlerinde yaygın olarak görülür. Atölye tipi imalatta her işin aynı rota ile ilerlediği durumlarda – örnek olarak bütün işler önce 1 numaralı makinada sonra 2 numaralı makinada işlem görmesi – akış tipi atölye olarak adlandırılmaktadır.

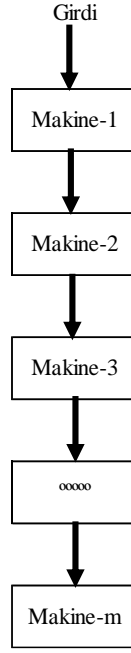
## II. AKIŞ TİPİ ÇİZELGELEME

Akış tipi çizelgeleme problemlerinde n-adet işlerin, m-adet makinelerde işlem görmesi, bütün işlere ait alt işlerin de aynı sıra ile yapıldığı çizelgelemedir. Bu çizelgeleme türünde her iş m-adet alt işlemden oluşmaktadır ve her işlem için bir adet makine ataması yapılmıştır. -Akış tipi çizelgeleme problemi, belirli bir performans ölçüsüne göre her bir makine için işlerin sıralamasını bulur. Teknolojik kısıtlar, işlerin aynı makine sırasından geçerek işlenmesini gerektirebilir. Ayrıca, birçok durumda her bir makine için işlerin sıralamasının aynı olduğu, n işin makine üzerinde aynı sırada işlem gördüğü kabul edilmektedir [2]. İşlem basamakları arasında atlanan bir basamak var ise süresi sıfır olarak ataması yapılır. Böylelikle o işin ilgili basamakta bulunan makinede işlem görmediği anlaşılabilir. Bu tip üretimde ürün çeşitliliği atölye tipi üretime göre nispeten daha azdır.

Akış tipi çizelgeleme için daha ileri varsayımlar mevcuttur. Bu varsayımlardan şöyle sıralanabilir: [3]

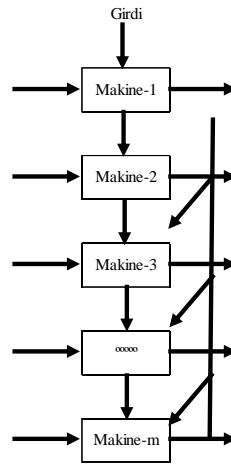
- İşler aynı anda sadece bir makinede işlem görebilir
- İşlerin alt operasyonları önceden yapılamaz,  $t=0$  anında işler ilgili makinede işlem görmeye başladıktan sonra belirlenen sırayla işlemler tamamlanır.
- $t=0$  anında işlerin hepsi işlem görmesi için hazır durumdadır.
- Operasyonların gerçekleştirilmesi için makine hazırlık süreleri işlem sırasından bağımsızdır. Bu hazırlık zamanları işlem sürelerine eklenmiştir.
- Makinelerin hazırlık süreleri sıralamadan bağımsızdır.
- Akış içerisinde stoka izin verilir

Akış tipi üretimin de kendi içerisinde farklı tiplerini görmek mümkündür. Saf akış tipi üretimde, tesiste “m” sayıda makine, her işte “m” sayıda operasyon vardır ve operasyonların hepsi farklı bir makineye ihtiyaç duyar. Saf akış tipi üretimin genel gösterimi Şekil 1’de görülebilir. [4]



**Şekil 1.** Akış Tip Üretim Genel Gösterimi

Birçok üretim tesisinde Şekil-1'deki gibi akış tipi üretim görülememektedir. Bunun yerine genel akış tipindeki üretimler daha çok görülmekte olup, genel akış tipindeki üretimlerde işlerin hepsi m-adet iş istasyonunda işlem görmek zorunda değildir. İşlerin operasyonları ardı sıra makinelerde olmayabilir veya ilk ve son operasyonları işler arası farklılık gösterebilir. Farklılıkların olması işin akışı doğrusallığını bozmamaktadır. Fakat saf akış tipine göre olan bu farklılıklar, işlerin bazı operasyonlarının işlem süreleri değerlerine sıfır değeri verilerek çözülebilir. [5]



**Şekil 2.** Doğrusal Olmayan Akış Tipi Üretim Gösterimi

Akış tipi üretimde işlemlerin m işlem görerek üretiminin tamamlanması sırasında işlerin art arda makinelerin hepsinde ve makinelerin hepsi için aynı sırayla işlem görüp görmemesi kriterine göre iki gruba ayrılır, permutasyon tipi akış problemleri ve esnek akış tipi üretim.

Permutasyon tipi akış problemi, makineler arasında iş sırası değişikliği yapılamayan akış tipidir. [6] Bu akış tipinde her makinedeki iş sıraları karşılaştırıldığında birbiri ile aynı olduğu görülür. Yani tüm makinelerde uygulanan kural ilk giren ilk çıkar kuralıdır (FIFO). Permutasyon akış tipi üretim genellikle makinelerin arasında malzeme taşıma sistemlerinin olduğu seri üretim tesislerinde görülür. [7]

Bu tip problemler bir makine çizelgeleme problemleri ile benzer olduğu için (n!) kadar farklı çizelgeleme sayısı mevcuttur, n farklı iş kendi içinde sıraya konur ve tüm makinelerde bu sıra içinde işler üretimini tamamlar.

Esnek akış tipi üretim; paralel makine üretim ortamıyla akış tipi üretim ortamının birleşiminden oluşan bir üretim ortamıdır. [8] Bu şekilde üretimin olduğu sistemlerde akış şekline göre daha genelleşmiş bir makine yerleşimi vardır. Belirli adette paralel makineler bulunduran alt operasyonlar birbirlerine sıralı şekilde bağlıdır. Bu şekilde oluşturulan üretim ortamında genel akış tipi üretim sistemindeki gibi işlerin belirli operasyonları bir veya birden fazla makinede işlem görmeyebilir. İşlerin akış içindeki makinelerde işlem görmediği durumlarda işlem süreleri sıfır olarak gösterilir. Permütasyon akış tipindeki gibi her makinede aynı iş sırasının izlenmesi gibi bir kısıt mevcut değildir.

Akış tipi çizelgeleme problemleri genellikle üretim sistemlerinde en çok görülen uygulamalardandır. Esnek akış tipi üretim çizelgeleme problemleri bir makine çizelgeleme problemi ve NP-hard veya NP-complete problemler olduğu kanıtlanmıştır. [9] Bu tip problemlerin çözümünün araştırılmasında metasezgisel yöntemler ise sıklıkla kullanılmaktadır. Metasezgisel yöntemler optimal sonucun bulunmasını garanti edemezler ama genellikle optimal sonuca yakın değerlere ulaşmaktadırlar.

Sayın ve Karabatı [10] iki-makine akış tipi çizelgeleme problemlerinde son işin tamamlanma zamanı (Cmax) ve işlerin ortalama tamamlanma zamanı (C) ölçütlerini eş zamanlı değerlendiren dal-sınır algoritması geliştirmişlerdir. İki makine problemde, Toktaş ve arkadaşları [11] Cmax ve en büyük erken bitirme (Emax), Liao ve arkadaşları [12] ise Cmax ve geciken işlerin sayısını (nT), Cmax ve işlerin gecikme zamanları toplamı (PT) ölçütleri için dal-sınır algoritmaları sunmuşlardır. Çok makineli çizelgeleme problemlerine ilişkin yapılan çalışmalarda ise Daniels ve Chambers [13] ve Chakravarthy ve Rajendran [14] Cmax ve işlerin en büyük gecikme zamanı (Tmax) ölçütlerinin ağırlıklı toplamını dikkate alan çalışmalar sunmuşlardır. Ravindran ve arkadaşları [15] Cmax ve işlerin toplam akış zamanları toplamı (PF) ölçütlerini es zamanlı eniyileyen üç farklı sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Aynı problem için Pasupathy ve arkadaşları [16] Pareto dereceleme temeline dayanan çok amaçlı genetik algoritma sunmuşlardır. Loukil ve arkadaşları [17] iki amaçlı çizelgeleme problemde ağırlıklı toplam yaklaşımıyla oluşturulan etkin çözümleri tavlama benzetimi algoritmasını kullanarak belirlemişlerdir. Varadharajan ve Rajendran [18] akış tipi çizelgeleme problemde Cmax ve PF amaçlarının es zamanlı eniyileyen iki aşamalı tavlama benzetimi algoritması sunmuşlardır. Yagmahan ve Yenisey [19] aynı problem için çok amaçlı karınca kolonisi algoritması geliştirmişlerdir.

Literatür araştırması yapıldığında çalışmaların genellikle iki makine ve iki ölçütlü olduğu, çözüm araştırmasında ise metasezgisel yöntemlere sıklıkla başvurulduğu görülmektedir. Metasezgisel yöntemler çözüm uzayını etkin bir şekilde aramayı sağlayacak temel sezgisel yöntemleri birleştirmeye çabalayan yeni yaklaşık yöntemlerinin geliştirilmesidir. [20] Metasezgisel yöntemler arama sürecine rehberlik eden stratejilerinde amaçlanan her defasında en iyi ya da en iyiye yakın çözümleri bulmak için çözüm uzayını hızlı bir şekilde taramaktadır. Metasezgisel yöntemler basit yerel arama algoritmalarından karmaşık hızlı öğrenme süreçlerine kadar birçok farklı uygulamayı içermektedir, bu uygulamaların hepsinde ortak özellik ise elde edilen çözümler deterministik değil yaklaşık algoritmalarlardır. Metasezgisel yöntemler farklı metodlar ile çözüm uzayını araştırmakta ve kabul edilebilir bir işlem süresi içinde elde edilen en iyi çözümü karar vericiye yön göstermesi veya uygulaması için sunmaktadır.

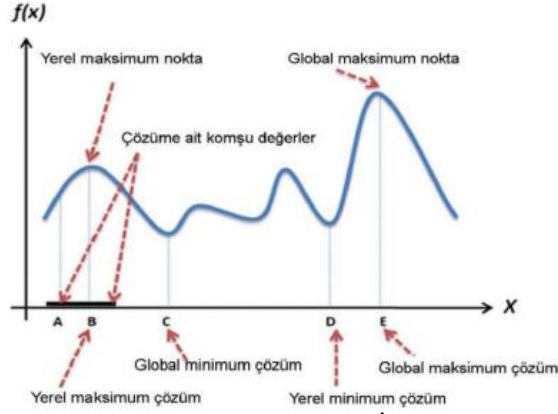
### III. TAVLAMA BENZETİMİ

Bu çalışmada kullanılan Tavlama benzetimi algoritması, eniyileme problemlerinin çözümü için geliştirilmiş yerel arama algoritmalarından biridir. Algoritma, metalürji ve malzeme bilimlerinde, belirli bir malzemenin sertlik ya da güç gibi özelliklerinin, ısı ile değiştirilmesine dayanan tavlama süreci ile kombinatoriyal eniyileme problemleri arasında bir benzerlik kurarak, eniyileme problemlerine çözüm getirmeyi amaçlar. [21] Yoğun madde fiziğinde, tavlama, bir katının ısı banyosunda düşük enerji durumlarının elde edilmesini sağlayan termal süreç olarak tanımlanmaktadır. Süreç, ısı banyosunun sıcaklığının, katının eriyeceği maksimum sıcaklık değerine yükseltilmesi ve tanecikler en düşük enerji seviyeli duruma gelinceye dek, ısı

banyosunun sıcaklığının dikkatlice azaltılması şeklinde iki adımdan oluşmaktadır. [22] Benzetilmiş tavlama algoritmasında, sıcaklığın kontrollü bir biçimde azaltılması ile küresel en iyinin bulunabilmesi olanaklıdır. [23] Benzetilmiş tavlama algoritması, bir başlangıç çözümünün ve sıcaklığının belirlenmesi ile başlayan ve yeni çözümlerin oluşturulması, değerlendirilmesi ve sıcaklığın uyarlanması ile devam eden bir süreçtir. Tavlama benzetimi ile elektronik devre tasarımı, görüntü işleme, yol bulma problemi, gezgin satıcı problemi, malzeme fiziği simülasyonu, kesme ve paketleme problemi, akış çizelgeleme ve iş çizelgeleme problemlerinin çözümlerinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Tavlama benzetimi algoritmasında yeni çözümler rastgele veya önceden belirlenmiş kurallara göre gerçekleşmektedir. Yapılan her tekrarda elde edilen geçmiş çözümler ile yeni elde edilen çözümler karşılaştırılmaktadır. Global en iyi sonucun bulunabilmesi için sadece mevcut çözümleri iyileştiren yeni çözümler değil, mevcut çözümü iyileştirmeyen yeni çözümlerin bir kısmı da kabul edilmelidir. Mevut çözümü iyileştirmeyen yeni çözümlerin kabul edilme olasılığı sıcaklık parametresine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. [24] Tavlama benzetimi algoritması, geleneksel algoritmalar ile en iyi çözümü bulmanın zor ya da olanaksız olduğu durumlarda çözüm üretebilmekte, doğrusal olmayan sistemlerle, düzensiz ve gürültülü verilerle ve birçok kısıt ile çalışabilmektedir. [25]

İlaç üretim sektörü yapı itibarıyla ülkemizde hızlı tüketim ürün grubuyla benzer özelliklere sahiptir. Rakip firmaların anlık satış stratejilerini değiştirmesi, anlık kampanyalar, mevsimsel hastalıkların artması ve azalması, satış ve üretimde hızlı dalgalanmalara neden olmaktadır. Bu dalgalanmalardan dolayı ürünlerin çizelgelemesine başlanmadan önce işler arasında kesin bir öncelikten söz edilebilmesi mümkün değildir. Üretim çizelgeleme faaliyetinden önce kesinleşen bir öncelik mantığını oturtup ürünlerin bu önceliğe göre çizelgelenmesi mümkün değildir. Anlık değişen ürün taleplerine göre çizelgelemenin yeniden gözden geçirilmesi, değişikliklerin uygulanması gerekmektedir. Bu değişikliklerin uygulanması sürecinde ise ilaç üretimine ve işletmeye özgü kısıtların yönetilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada ilaç üretimi yapan bir işletmede çizelgeleme problemlerinin çözüm araştırmasında tavlama benzetimi özellikle seçilmiştir. Sıcaklık düşürüldükçe işlerin sıralaması değiştirilerek alternatif çözümler oluşturulmakta ve bu çözümler arasında işletme içinde değişen farklı önceliklere göre uygulanabilir olan çözümü araştırmak daha kolay olmaktadır. Tavlama benzetimi ile en kısa tamamlanma süresini araştırırken işler arasında herhangi bir sıralama önceliği bulunmamaktadır. Sadece toplam tamamlanma zamanını en küçük yapan iş sıralaması araştırılmaktadır. Çizelgeleme öncesinde işlerin birbirleri arasındaki önceliği çalışmanın yapıldığı işletme bilmemektedir. İlaç işletmesinde üretim planlama departmanı çalışanları toplam tamamlanma zamanı en küçük olan çözümü her zaman olduğu gibi kullanmak istemedikleri ve pazarın hızlı değişimine ait deneyimlerini de kullanarak en kısa tamamlanma süresi çözüme yakın diğer alternatifler arasından seçim yapmak istediklerini belirtmiştir. Bu talep çalışmanın yapıldığı işletmeye özgüdür. İşletme çalışanları tavlama benzetiminin bulunduğu en küçük toplam tamamlanma süresine yakın olan diğer komşu çözümlerde, işletmenin o anki satış stratejisine göre daha uygun bir iş sıralaması olup olmadığına bakarak karar vermektedirler. Kimi zaman bulunan en iyi çözüm yerine alternatif çözümlerin iş sıralaması kullanılmaktadır. Daha detaylı açıklamak gerekirse tavlama benzetimin bulunduğu en iyi çözüm yerine, işletmenin pazarlamada görmüş olduğu o anlık tepkilerden ötürü en iyi çözüme yakın alternatif diğer iş sıralamalarından uygun olanını seçmektedir. Bu alternatif seçim uygulamasının kolaylıkla yapılabileceği işlerin sıralamasında her defasında sadece bir adet değişikliğin yapıldığı çözümler arasında geçişi hızlı bir şekilde sağlayabilecek yöntem tavlama benzetimi olduğu için uygulamada tavlama benzetimi kullanılmıştır. Günümüzde, rekabetin yoğun bir şekilde yaşandığı iş ortamı, işletmeleri optimum fakat yavaş olan bir çözüm yerine, hızlı ve kabul edilebilir bir çözüm bulmaya yönlendirmektedir.[26] Çalışmanın yapıldığı işletme için de aynı durum geçerlidir, işletme uzun sürede elde edilen optimum çözümler yerine kısa sürede ulaşılan daha kolay uygulanabilir çözümleri tercih etmektedir.

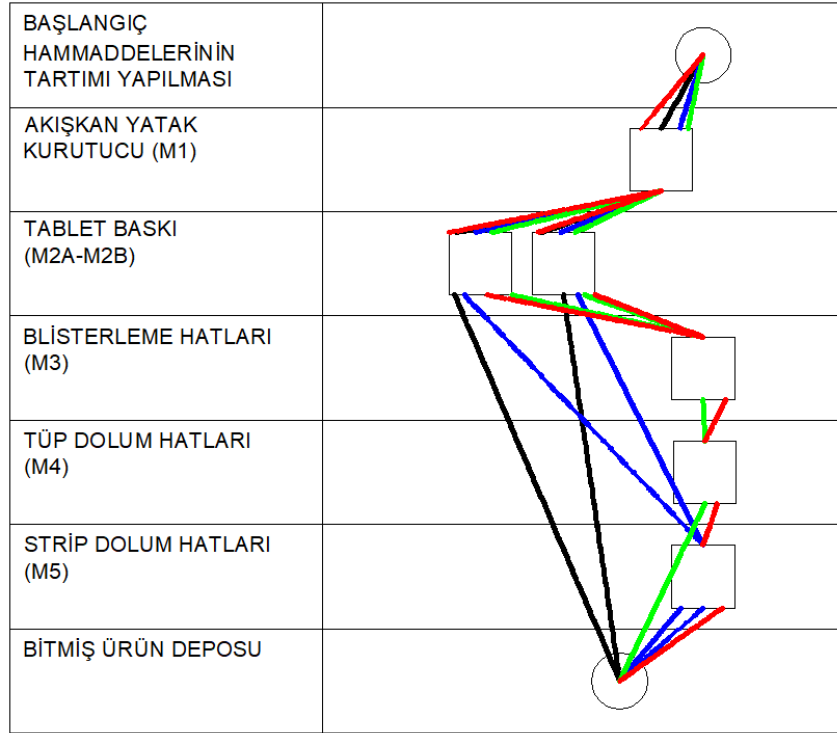


Şekil 3. Genel ve Yerel En İyi

Şekil-3’de gösterildiği gibi tavlama benzetimi algoritması genel en iyiyi bulmak için çalışmakta, optimizasyon algoritmalarındaki kavramları da göstermektedir. [27] Bu araştırma sürecinde bulmuş olduğu yerel en iyi çözümler ise işletmenin pazarlama stratejisine göre kimi zaman daha uygulanabilir ve daha önemli olmaktadır. Yerel en iyi ile elde edilen işlerin sıralaması çizelgeleme dönemi içindeki pazarlama stratejisine daha uygun ise çözüm olarak yerel en iyi kullanılmaktadır. Bu çözümler arasından geçiş farklılığı tavlama benzetimi kullanımının daha etkili olmasını sağlamış, işletme içinde çizelgeleme yapan çalışanlara karar desteği sağlamıştır.

#### IV. UYGULAMA

Bu çalışmada beşeri ilaç üretimi yapan bir üretim işletmesindeki üretim rotaları kullanılmış, üretim süreleri işletme tarafından paylaşılmadığı için test verileri ile çalışma tamamlanmıştır. İlaç üretiminde çizelgeleme yapılırken diğer üretim sektörlerinde kullanılmayan bazı kısıtlar da kullanılmaktadır. İlaç üretimini diğer üretim sistemlerinden ayıran önemli bir özellik, ayar ve temizlik sürelerinin bulunmasıdır. Her ürün için önceden belirlenmiş temizlik süreleri vardır. Aynı üründen belirli bir süre üretim yapıldıktan sonra, temiz kalma süresi aşıldıysa, temizlik çalışması yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda yapılması gereken çalışma; üretimin yapıldığı alan ve bu alandaki ekipmanlarda genel temizlik yapılmasıdır. Üretime başlayabilmek için makinaların yeniden ayarlanması gerekmektedir. Benzer şekilde bir üretim makinasında bir üründen farklı bir ürüne geçildiğinde yine temizlik işleminin yapılması ve ayar çalışması yapılması gerekmektedir. Bu sürelerin ise ürüne bağlı olarak değiştiği bilinmektedir.



**Şekil 4.**İlaç Üretim Süreci

Çalışmanın yapıldığı işletmedeki ilaç üretim süreci Şekil-4’de verilmiştir. Her farklı renk farklı bir üretim rotasını temsil etmekte olup ilgili satırdaki fazladan çizilmiş kareler paralel makineleri göstermektedir. Uygulamanın yapıldığı fabrikanın üretiminde beş farklı makine ve yedi farklı iş bulunmakta olup, iki numaralı makine paralel makinedir. Çizelgelemesi yapılacak yedi farklı işin üretim rotası ise Tablo 1’de verilmiştir. Tablodaki M1 makinesi Şekil-4’deki akışkan yatak kurutucuya, M2A ve M2B ise tablet baskı makinesi, M3 blisterleme hattı, M4 tüp dolum hattı ve M5 ise strip dolum hattını göstermektedir.

**Tablo1.**İşlere Ait Üretim Rotası

ROTA Bilgisi	1	2	3	4	5	6	7
<b>M1</b>	1	1	1	1	1	1	1
<b>M2A</b>	2	2	2	2	2	2	2
<b>M2B</b>	2	2	2	2	2	2	2
<b>M3</b>	0	0	3	0	3	3	0
<b>M4</b>	0	0	4	0	4	4	0
<b>M5</b>	0	3	0	0	0	5	0

Yukarıdaki tabloda görülebileceği gibi Makine 2A ve Makine 2B’de tüm ürünler işlem görmektedir Bu iki makine birbiriyle tamamen aynı özelliklere sahip olduğu için üretim çizelgelemesine göre hangi makine boş ise bu makinede işlem görebilmektedir. Yani paralel makinelere iş ataması yapılırken öncelikle hangi paralel makine boş ise ona iş ataması yapılmaktadır. İşlerden 1-4-7 numaralı işler sadece M1,M2A ve M2B’de işlem görmektedirler. İşlerden 3-5 numaralı işler M1,M2A,M2B,M3 ve M4’de işlem görmektedirler. İki numaralı iş ise M1,M2A,M2B ve M5’de işlem görmektedir. Altı numaralı iş ise M1,M2A,M2B ve M4 ve M5’de işlem görmektedir. Yukarıdaki tabloda belirtilen üretim rotasına göre sıfır değeri olmayan her hücre için belirli bir üretim süresi olmalıdır. Bu süreler ise işlerin makineye atanması durumunda ne kadar sürede tamamlanacağını göstermelidir. Tablo 2’de üretim rotası ile örtüşen üretim süreleri verilmiştir.

**Tablo 2.**İşlere Ait Üretim Süresi

İşlem Süreleri	1	2	3	4	5	6	7
M1	18	25	40	22	25	25	22
M2A	15	30	80	60	10	18	22
M2B	15	30	80	60	10	18	22
M3	0	0	40	0	50	22	0
M4	0	0	22	0	14	8	0
M5	0	10	0	0	0	12	0

Tablo 1 ile Tablo 2'ye bakıldığında sıfır değeri olan hücrelerin değişmediğini görülmektedir. İşlerin makinelerle atanması durumunda ilgili işin tamamlanması için gerekli olan işlem süresi belirtilmiştir. İncelenen problem her makineye aynı anda bir adet iş atanacak şekildedir. Atanan işin tamamlanacağı süre boyunca ilgili makine çalışıyor ve çalışma süresi tamamlanana kadar yeni bir işe başlayamayacağı anlamına gelmektedir. Tablo 3'de ise herhangi bir makinede üretilen herhangi bir işten diğer işe geçildiğinde yapılması gereken ayar işlemlerinin süresi verilmiştir. İlaç üretiminde kullanılan farklı hammaddelerden dolayı makine ekipmanlardaki temizlik süresini üründe kullanılan hammaddeye göre değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla ürünler arasında yapılan ayar ve temizlik işlemlerinde süreler makinelerin özelliklerine göre değil üründe kullanılan hammadde ve temizlik yöntemine göre değişmektedir. Dolayısıyla üretimde kullanılan ekipmanların ne olduğundan bağımsız olarak makinede çalışılan bir önceki ve bir önceki işe göre ayar süreleri değişmektedir. Örnek olarak herhangi bir üretim makinesinde 3 numaralı iş üretildikten sonra 6 numaralı işe geçiş yapılacak ise 36 birimlik bir ayar çalışması yapılmalıdır.

**Tablo3. Ürünler Arasındaki Ayar Süreleri**

Ayar Süreleri	1	2	3	4	5	6	7
1	10	12	13	14	15	16	17
2	21	20	23	24	25	26	27
3	31	32	30	34	35	36	37
4	41	42	43	40	45	46	47
5	51	52	53	54	50	56	57
6	61	62	63	64	65	60	67
7	71	72	73	74	75	76	70

Tablo 4'de ürünlerin herhangi bir üretim makinesinde temizlik yapılmadan en fazla ne kadar süre üretilebileceğini göstermektedir. Bu süre temiz kalma süresi olarak tanımlanmakta, bu süreden daha uzun sürelerde iş ataması yapıldığında ilave temizlik ve ayar işlemleri yapılmaktadır. İlaç üretiminin diğer üretim sektörlerinde ayıran diğer bir özellik de işlerin lotlar halinde üretime verilmesi ve lotların bölünmeden üretime devam edilmesidir. Örnek olarak 4 numaralı işten talep edilen üretim miktarı 14br lot olduğunu kabul edelim. Üretilmesi gereken 14br lot üretim akışına göre sırasıyla üretimi tamamlanmalı, iş sıralamasına göre 4 numaralı iş tamamlandıktan sonra ilgili makinede sıradaki işe geçilebilir. Üretilmesi gereken 14br lot farklı şekillerde bölünerek üretilmemektedir. Üretilenler şarj adetleri ise her ürün için sıralamasıyla şu şekildedir, 11/12/13/14/15/16/17.

**Tablo4. Ürünlerin Temiz Kalma Süreleri**

	1	2	3	4	5	6	7
Temiz Kalma Süreleri	101	102	103	104	105	106	107

Paralel makinelerle ait örnek iş atama sonucu Tablo 5'de verilmiştir. İşlerden numarası 2-4-5-6 M2A makinesinde işlem görecektir iken, 1-3-4-7 numaralı işler ise M2B makinesinde işlem görecektir. Bu tablo herhangi bir çözümden rassal olarak seçilmiştir, farklı çözümlerde farklı atamalar gerçekleşmektedir.

**Tablo5. Paralel Makine İş Atamasına Ait Örnek**

	1	2	3	4	5	6	7
M2A	0	1	0	0	1	1	0
M2B	1	0	1	1	0	0	1



Kullanılan tavlama benzetimin çalışma algoritması şu şekildedir;

*Adım-1:*

- Problem verilerini, parametreleri oku
- Başlangıç çözümünü oluştur.
- Başlangıç çözümünün amaç fonksiyonun değerini hesapla.

*Adım-2:*

- Başlangıç çözümünü en iyi çözüm olarak ata.
- Başlangıç çözümünün amaç fonksiyon değerini en iyi çözüm değeri olarak ata.

*Adım-3*

- Başlangıç çözümünü kullanarak, komşu çözümleri üret.
- Komşu çözümü üretmek için başlangıç çözümündeki işlerin sıralamasındarassal olarak seçilen iki iş karşılıklı olarak yer değiştirilir.
- Yeni yer değiştirme ile elde edilen iş sıralamasında rassal olarak seçilen iki iş karşılıklı olarak yer değiştirilir.
- Yeni yer değiştirme ile elde edilen iş sıralamasında rassal olarak seçilen iki iş karşılıklı olarak yer değiştirilir.
- Yeni yer değiştirme ile elde edilen iş sıralamasında rassal olarak seçilen iki iş karşılıklı olarak yer değiştirilir.

-Dört farklı komşu çözümlerin amaç fonksiyonu değerini hesapla.

-Sıcaklığı düşür.

*Adım-4:*

-Komşu çözümlerden elde ettiğin en iyi sonuç başlangıç çözümünden daha iyi ise bulduğun çözümü kayıt et, amaç fonksiyonu değerini hesapla ve en iyi çözüm değeri olarak ata.

-Değil ise

Rassal sayı üret,

üretilen rassal sayı  $<$  üstel (-kriter/T) ise komşu çözümündeki işlerin sıralamasını mevcut çözüm olarak güncelle ve Adım-5'e git.

üretilen rassal sayı  $<$  üstel (-kriter/T) koşulu sağlanmıyor ise başlangıç çözümünü kullanmaya devam et. Adım-6'ya git.

*Adım-5:*

-Komşu çözümü mevcut çözüm olarak güncelle.

-Komşu çözümün amaç fonksiyonu değerini mevcut çözümün amaç fonksiyonu değeri olarak belirle.

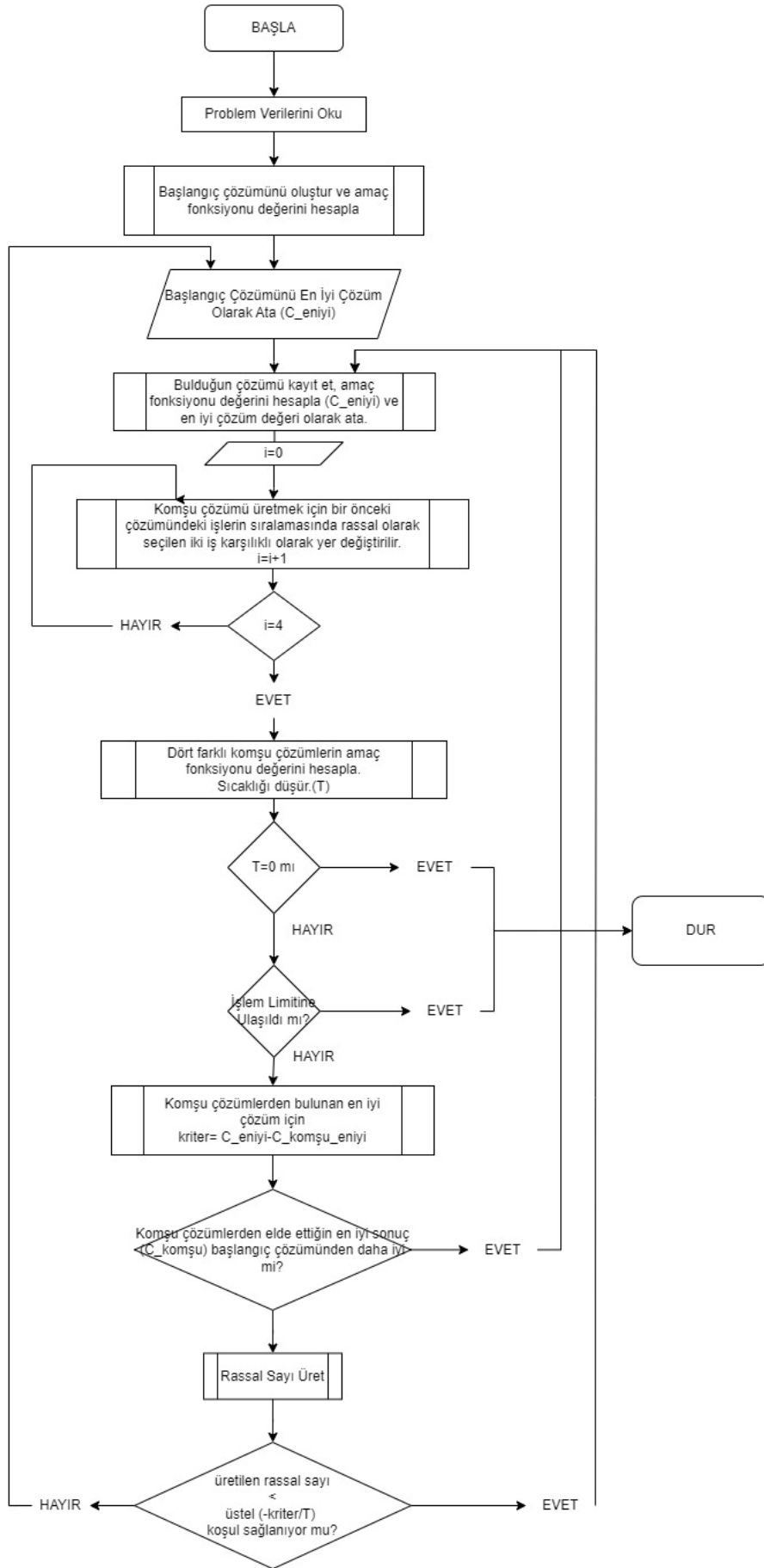
*Adım-6*

-Sıcaklık 0 değil ve toplam işlem sınırı limit değere ulaşmadıysa Adım-3'e git.

-Sıcaklık 0 veya toplam işlem sınırı limit değere ulaştıysa Adım-7'ye git.

*Adım-7*

-Algoritmayı durdur, en iyi çözüm ve en iyi çözüm değerini raporla.



Şekil 5 Mevcut Algoritmaya Ait Akış Şeması

Yukarıda verilen algoritmada tavlama benzetiminin standart hali ile kullanılmıştır, her sıcaklık düşüşünde bir önceki çözüm kullanılır, bir önceki çözümde rassal olarak seçilen iki iş karşılıklı olarak yer değiştirilir ve mevcut çözüm ile karşılaştırılması yapılır. Bu uygulamada işlerin sıralaması her defasında karşılıklı olarak ikili ikili yer değiştirildiği için belirli bir çözüm üzerinde odaklanmaktadır. Her defasında karşılıklı işlerin değiştirilmesi sonucunda bulunan çözümün bir önceki çözüme göre daha iyi olup olmadığına bakarak bulunan daha iyi çözümler üzerinde yoğunlaşır ve daha iyi çözüm bulmak için araştırmasına devam eder. Bu standart uygulama belirli bir çözüm noktasından başlar ve onun komşuluğundaki diğer çözümleri derinlemesine araştırıp bir sonuca ulaşmaya çalışır.

Önerilen tavlama benzetimi algoritmasında komşuluk çözümü araştırma mantığı değiştirilmiş, bulunan ilk mevcut çözümden daha iyi olan komşuluk çözümü üzerinde farklı işlemler ile çözüm uzayında başka bir noktaya sıçrama yapılmış ve bu sıçrama sonucuna göre yeni komşuluk çözümleri oluşturulmuştur.

Değiştirilen tavlama benzetimin çalışma algoritması şu şekildedir;

*Adım-1:*

*-Problem verilerini, parametreleri oku*

*-Başlangıç çözümünü oluştur.*

*-Başlangıç çözümünün amaç fonksiyonun değerini hesapla.*

*Adım-2:*

*-Başlangıç çözümünü en iyi çözüm olarak ata.*

*-Başlangıç çözümünün amaç fonksiyon değerini en iyi çözüm değeri olarak ata.*

*Adım-3*

*-Başlangıç çözümünü kullanarak, komşu çözümleri üret.*

*-Komşu çözümü üretmek için başlangıç çözümündeki işlerin sıralamasında rassal olarak seçilen iki iş karşılıklı olarak yer değiştirilir.*

*-Komşu çözümü üretmek için başlangıç çözümündeki işlerin sıralaması ters çevrilir.*

*-Komşu çözüm üretmek için başlangıç çözümündeki işlerin sıralamasında rassal olarak seçilen dört iş karşılıklı olarak yer değiştirilir.*

*-Komşu çözüm üretmek için başlangıç çözümündeki işlerin sıralamasında -Komşu çözümlerin amaç fonksiyonu değerini hesapla.*

*-Sıcaklığı düşür.*

*Adım-4:*

*-Komşu çözümlerden elde ettiğin en iyi sonuç başlangıç çözümünden daha iyi ise bulduğun çözümü kayıtlı et, amaç fonksiyonu değerini hesapla ve en iyi çözüm değeri olarak ata.*

*-Değil ise*

*Rassal sayı üret,*

*üretilen rassal sayı < üstel (-kriter/T) ise komşu çözümündeki işlerin sıralamasını mevcut çözüm olarak güncelle ve Adım-5'e git.*

*üretilen rassal sayı < üstel (-kriter/T) koşulu sağlanmıyor ise başlangıç çözümünü kullanmaya devam et. Adım-6'ya git.*

*Adım-5:*

*-Komşu çözümü mevcut çözüm olarak güncelle.*

*-Komşu çözümün amaç fonksiyonu değerini mevcut çözümün amaç fonksiyonu değeri olarak belirle.*

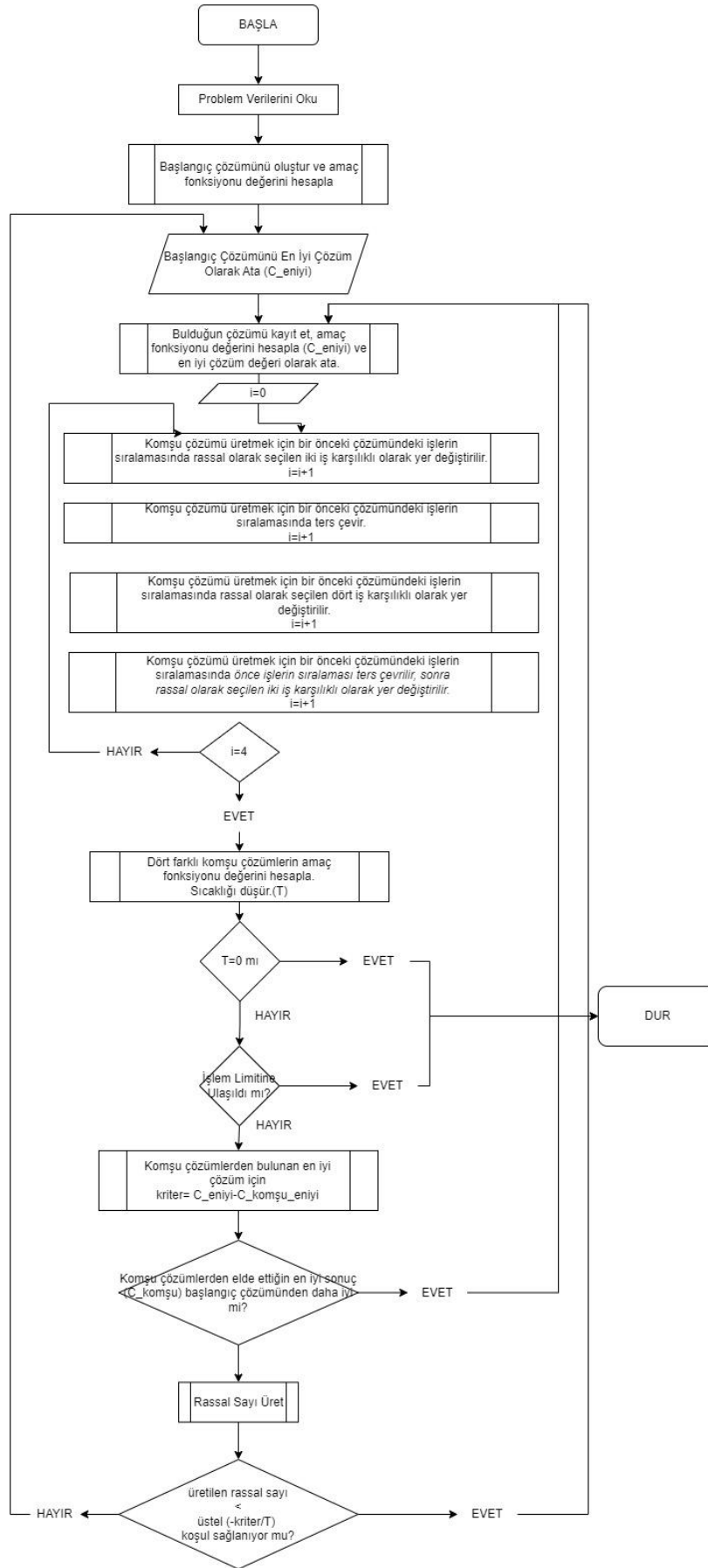
*Adım-6*

*-Sıcaklık 0 değil ve toplam işlem sınırı limit değere ulaşmadıysa Adım-3'e git.*

*-Sıcaklık 0 veya toplam işlem sınırı limit değere ulaştıysa Adım-7'ye git.*

*Adım-7*

*-Algoritmayı durdur, en iyi çözüm ve en iyi çözüm değerini raporla.*



Şekil 6. Değiştirilen Algoritmaya Ait Akış Şeması

Değiştirilen tavlama benzetimi algoritmasında başlangıç çözümünü kullanarak elde edilen komşuluk çözümlerinde herhangi bir odaklanma olduğunu söyleyemeyiz. Başlangıç çözümü kullanılarak dört farklı operatör ile işlem yapılması sonucunda çözüm uzayında farklı noktalara hızlı sıçramalar ile en iyi çözüm araştırması yapılmaktadır. Belirli bir noktada elde edilen çözümün altında daha iyi sonuç olup olmadığına bakmaksızın başka bir noktaya atlayıp işlemini sürdürmektedir.

Tavlama benzetimi algoritması kötü çıkan bir çözümü hemen ret etmeyip belirli bir olasılıkla üstel (-kriter/T) koşulunun sağlanıp sağlanmadığına bakarak kötü çıkan çözümü kullanmaktadır. Bu kural her iki algoritmada da Adım-4'de belirtilmiş ve kullanılan programdaki ilgili kodlama bloğuna ait ekran görüntüsü Şekil-7'de verilmiştir. Belirtilen koşul sağlandığında komşuluk çözümü mevcut çözüm olarak kullanılmakta sağlanmadığı durumda ise mevcut çözüm üzerinde değişiklik yapılmadan devam edilmektedir.

```
if criteria <= 0:
    amac = mevcut_amac
    workbook2['Sheet1'].cell(row=cool_it*n_rep*9 + temp_it*9, column=31).value = criteria

    devamke=1
    rassalatamayap=0
    workbook2['Sheet1'].cell(row=cool_it*n_rep*9 + temp_it*9, column=34).value = devamke
    workbook2['Sheet1'].cell(row=cool_it*n_rep*9 + temp_it*9, column=35).value = rassalatamayap

else:
    if random.random() < exp(-criteria/T):
        amac = mevcut_amac
        workbook2['Sheet1'].cell(row=cool_it*n_rep*9 + temp_it*9, column=32).value = exp(-criteria/T)
        workbook2['Sheet1'].cell(row=cool_it*n_rep*9 + temp_it*9, column=33).value = amac

        devamke=1
        rassalatamayap=0
        workbook2['Sheet1'].cell(row=cool_it*n_rep*9 + temp_it*9, column=34).value = devamke
        workbook2['Sheet1'].cell(row=cool_it*n_rep*9 + temp_it*9, column=35).value = rassalatamayap

    else:
        devamke=0
        rassalatamayap=1
        workbook2['Sheet1'].cell(row=cool_it*n_rep*9 + temp_it*9, column=34).value = devamke
        workbook2['Sheet1'].cell(row=cool_it*n_rep*9 + temp_it*9, column=35).value = rassalatamayap
```

Şekil 7. Programa Ait Ekran Görüntüsü

## V. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

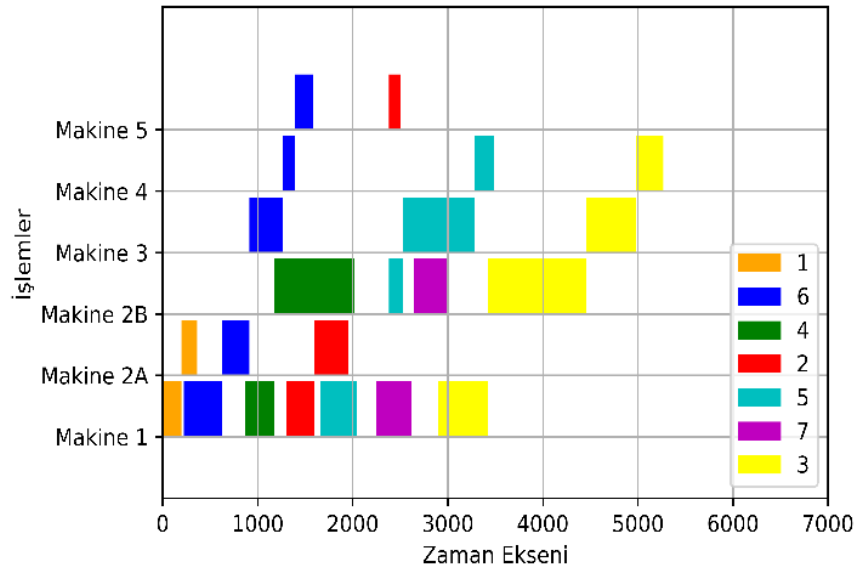
Bu çalışmada ilaç sektöründe akış tipi üretim yapan bir işletmede toplam tamamlanma süresini en küçük yapacak iş çizelgelemesi araştırılmaktadır. Talep edilen şarj adetleri kadar üretimi Tablo4'deki temiz kalma süresinin aşılmadığını sürekli kontrol eden, Tablo1'deki üretim rotasına uygun şekilde, Tablo2'deki üretim sürelerini ve Tablo3'deki ayar sürelerini kullanarak bir çizelge oluşturmaktadır. Bu tablolaradaki veriler ve kurallar kullanılarak yapılan çizelgelemeden beklenen toplam tamamlanma süresinin en küçük olmasıdır. Toplam tamamlanma süresi en küçük olan çözümün bulunabilmesi için tavlama benzetimi algoritması kullanılmıştır.

Tavlama benzetimi herhangi bir rassal sonuç veya önceden belirlenmiş bir çözümü kullanarak çözümün komşuluğunda alternatif çözümlerin aramasını yapar. Bu alternatif çözümlerden elde edilen daha iyi bir çözüm varsa, daha iyi çözüm kullanılarak bir sonraki çözüm aramasında başlangıç çözümü olarak kullanılır. İşletme üretim yapısı itibarıyla akış tipi üretim yapmakta olup ürünleri hızlı tüketim ürünleri karakterine sahiptir. Ürünlerin tüketici ile buluşma süresi ne kadar kısalsın satış miktarları artmaktadır. Benzer şekilde tüketici

satış noktalarında istediği ürünü bulamadığı zaman rakip üreticinin ürünlerini seçmekte, müşteri sadakati düşük seviyededir. Pazar yapısı ve müşteri davranışları incelendiğinde çizelgelemenin her zaman toplam tamamlanma zamanını en küçük yapacak şekilde olması gerekmektedir. Bu duruma ilaveten ilaç üretiminde temiz kalma süresi, değişken ayar süreleri, sabit lot büyüklüğü gibi kısıtlar el ile çizelgeleme yapıldıktan sonra alternatif çözümlerin araştırılmasını zorlaştırmakta, genellikle işletmede çizelgeleme yapan kişi belirli bir miktarda ürünü çizelgeleme takvimine aldıktan sonra toplam tamamlanma süresini daha ne kadar azaltabileceğine yönelik herhangi bir çalışma yapamamaktadır. Tam bu noktada tavlama benzetimi ile hızlıca elde edilen çözümler ve bu çözümlerin sonuçları çizelgeleme sistemini kolaylıkla uyarlanabilmekte, üretim çizelgelemesi yapan çalışanlara alternatif sonuçların neler olduğunu gösterebilmektedir.

İncelenen problemde işler arasında herhangi bir öncelik ayımı olmadığı için işlerin rassal olarak sıralaması yapılır. Rassal olarak işler sıralandıktan sonra paralel makine olan 2A ve 2B’de tanımlı olan işlerden hangisinin işlem göreceği yine rassal olarak seçilir. Örnek olarak iş sıralaması [1, 6, 4, 2, 5, 7, 3] olarak seçilmiş ve tüm makinelerdeki işlem sırası bu sıralamaya uyacak şekilde işlerin atanması ile yürütülmektedir. Paralel makineler için iş atama sıralaması ise [[1, 0, 0, 0, 0, 1, 1], [0, 1, 1, 1, 1, 0, 0]] şeklindedir.

Tavlama benzetimi ile ilk elde edilen çözümden diğer çözümlere geçiş yapılırken rassal olarak seçilen iki iş karşılıklı olarak yer değiştirilir. Bu yer değiştirme sonrasında mevcut çözüm ile o ana kadar elde edilmiş en iyi çözüm karşılaştırılır. Mevcut çözüm elde edilen çözümden daha iyi ise kullanılır daha iyi olmayan çözümler ise gelecekte daha iyi çözüm elde edebilmek için belirli bir olasılık fonksiyonu ile kontrol edilir. Bu kontrol sonucunda kabul edilen çözümler kullanılır ve bu çözümden başka bir çözüm elde edilir. Bu şekilde belirli bir sıcaklıktan başlanılarak belirli bir katsayı ile sürekli soğutulur ve her soğuma işleminde belirli miktarda alt soğuma araştırılır. Soğutma sıcaklığı hedef sıcaklığa ulaştığında veya belirtilen toplam adım sayısına ulaşıldığında algoritmanın çalışması durur. Yapılan çalışma python programlama dilinde kodlanmıştır.



Şekil 8. Başlangıç İçin Seçilen Rassal Çözüm Sonucu

Şekil 8’da tavlama benzetiminde rassal olarak seçilen başlangıç çözümü Gantt şeması şeklinde verilmiştir. Yatay eksen zamanı dikey ekseninde ise makineler verilmiştir. Her iş farklı olarak renklendirilmiş ve Gantt şemasında makinelerin ne kadar süre aktif olarak çalıştığı veya çalışmaya başlamadan önce ne kadar boşa kaldığını göstermektedir. Başlangıç çözümünde elde edilen değer 4975br olmuştur (Tablo 6). 300 adet iterasyon sonucunda elde edilen en küçük değer 3816 br olmuştur (Tablo 8).

Tavlama benzetiminde her sıcaklık düşümünde komşuluk çözümü araştırması için rassal olarak seçilen işler karşılıklı olarak yer değiştirilir. Rassal arama yönteminde ise her sıcaklık düşüşünde dört farklı operatör oluşturulmuştur. Rassal arama yönteminde dört farklı komşuluk çözümü arandığı için tavlama benzetimi yönteminde de dört farklı komşulukta çözüm araştırılmıştır. Her sıcaklıkta dört defa işler karşılıklı olarak yer değiştirilmiş ve elde edilen en iyi çözüm bir sonraki sıcaklık düşüşünde kullanılmıştır. Rassal arama yöntemi ile aynı sayıda komşulukta elde edilen sonuçlara göre performans karşılaştırması yapılabilmesine

imkan sağlamıştır. Tablo 6’da tavlama benzetimi kullanılarak elde edilen ilk beş adıma ait sonuçlar paylaşılmıştır.

**Tablo 6.Tavlama Benzetimi Yöntemi İle Elde Edilen Çözümleri (İlk 5 Adım)**

		Amaç	Mevcut Amaç	Sıcaklık	1.İş	2.İş	3.İş	4.İş	5.İş	6.İş	7.İş
1	0	4.975	9.999	100,00	4	3	6	1	7	5	2
1	1	4.975	4.534	100,00	4	3	6	7	1	5	2
1	2	4.534	4.641	100,00	2	3	6	7	1	5	4
1	3	4.641	4.640	100,00	3	2	6	7	1	5	4
1	4	4.640	4.640	100,00	3	2	6	5	1	7	4
2	0	4.640	4.534	99,00	4	3	6	7	1	5	2
2	1	4.534	4.589	99,00	6	3	4	7	1	5	2
2	2	4.534	4.573	99,00	6	3	4	2	1	5	7
2	3	4.573	4.763	99,00	6	3	1	2	4	5	7
2	4	4.573	5.265	99,00	3	6	1	2	4	5	7
3	0	4.573	4.534	98,01	4	3	6	7	1	5	2
3	1	4.534	5.103	98,01	4	5	6	7	1	3	2
3	2	4.534	5.106	98,01	4	5	6	7	2	3	1
3	3	4.534	5.103	98,01	4	5	6	7	1	3	2
3	4	4.534	5.325	98,01	4	5	6	7	1	2	3
4	0	4.534	4.534	97,03	4	3	6	7	1	5	2
4	1	4.534	4.870	97,03	4	6	3	7	1	5	2
4	2	4.534	5.813	97,03	7	6	3	4	1	5	2
4	3	4.534	5.100	97,03	7	6	5	4	1	3	2
4	4	4.534	5.100	97,03	7	4	5	6	1	3	2
5	0	4.534	4.534	96,06	4	3	6	7	1	5	2
5	1	4.534	4.582	96,06	4	6	3	7	1	5	2
5	2	4.582	5.243	96,06	4	6	7	3	1	5	2
5	3	4.582	5.414	96,06	4	1	7	3	6	5	2
5	4	4.582	4.753	96,06	4	1	3	7	6	5	2

Tabloda başlangıç çözümü olarak 4-3-6-1-7-5-2 seçilmiştir, ilk yer değiştirme işleminde 1 ve 7 numaralı işler karşılıklı olarak yer değiştirilmiştir. İkinci yer değiştirme işleminde ise 4 ve 2 numaralı işler karşılıklı olarak yer değiştirmiş, üçüncü yer değiştirme işleminde 2 ve 3 numaralı işler karşılıklı olarak yer değiştirilmiştir, son yer değiştirme işleminde ise 5 ve 7 numaralı işler karşılıklı olarak yer değiştirilmiştir. Sıralaması değiştirilecek işler rassal olarak seçilmekte ve bir önceki yer değiştirmede elde edilen sıralama kullanılarak değişiklik yapılmaktadır. İlk sıcaklık düşümünde elde edilen en iyi sıralama 4-3-6-7-1-5-2 olmuş ve bu çözüm bir sonraki sıcaklık düşümünde başlangıç çözümü olarak kullanılmıştır. Her sıcaklık düşümünde 4 farklı yer değiştirme işlemi yapılmış ve bu işlemler sonucunda elde edilen sonuç bir sonraki sıcaklık düşümüne taşınmıştır. Toplamda 300 adet sıcaklık düşürülmesi sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 8’de verilmiştir. Tavlama benzetimi kullanılarak geliştirilen rassal arama yönteminde ise her sıcaklık düşüşünde dört farklı operatör kullanılmış, bu operatör ile başlangıç çözümü kullanılarak rassal başka bir çözüm noktasına sıçrama yapılmaktadır. Bu yöntemin çekirdeğinde tavlama benzetimi kullanılmış olup bulunan sonuç üzerinden yoğunlaşarak daha iyi sonuçların araması yapılmamaktadır. Her sıcaklık düşüşünde bulunan en iyi sonuç dört farklı operatör kullanılarak çözüm uzayının farklı noktalarına sıçramakta ve bu sıçrama sonucunda elde edilen en iyi çözümler bir sonraki çözüme başlangıç çözümü olarak kullanılmaktadır. Kullanılan bu operatörlerin açıklamaları ve yaptıkları işlemlerin tanımlaması aşağıdaki gibidir.

- Yer değiştirme işlemi: bu işlem ile başlangıç çözümünde rassal olarak iki adet iş seçilir ve bu işlerin sıralamadaki yerleri karşılıklı olarak yer değiştirilir.
- Sıralamayı ters değiştirme: bu işlemde başlangıç çözümündeki işlemler sondan başlayarak işlemlerin sıralaması tam tersi olarak değiştirilir.
- İkili yer değiştirme: bu işlemde başlangıç çözümünden rassal olarak ikili grup halinde dört iş seçilir, seçilen bu işler ikili karşılıklı olarak yer değiştirilir.
- Yer değiştirme ve sıralamayı ters çevirme; bir önceki işlemde olduğu gibi sıralama tam ters olarak değiştirilir ve ilk işlemde olduğu gibi başlangıç çözümünden iki iş rassal olarak seçilir ve seçilen işler yer değiştirilir.

Her çözüm adımında bu işlemler sırası ile tekrar edilir ve elde edilen çözüm başlangıç çözümü ile karşılaştırılır. Elde edilen çözüm başlangıç çözümünden daha iyi ise bir sonraki adıma geçilirken elde edilen en iyi başlangıç

çözümü kullanılır. Elde edilen çözüm başlangıç çözümünden daha kötü olması durumunda ise olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılarak elde edilen çözümün kabul edilip olmadığı test edilir. Yapılan test sonucunda elde edilen fonksiyon değeri ile rassal sayının karşılaştırılması yapılır, karşılaştırma sonucu rassal olarak belirlenen değer daha büyük ise elde edilen çözüm bir sonraki adımın başlangıç çözümü olarak kullanılır.

*Tablo7.Rassal Arama Yöntemi İle Elde Edilen Çözümleri (İlk 5 Adım)*

		Amaç	Mevcut Amaç	Sıcaklık	1.İŞ	2.İŞ	3.İŞ	4.İŞ	5.İŞ	6.İŞ	7.İŞ
1	0	4.970	5.253	100,00	2	1	5	4	7	3	6
1	1	4.970	5.349	100,00	2	1	7	4	5	3	6
1	2	4.970	4.979	100,00	6	3	7	4	5	1	2
1	3	4.979	4.686	100,00	4	1	5	2	3	7	6
1	4	4.686	5.241	100,00	6	4	7	3	5	1	2
2	0	4.686	4.686	99,00	4	1	5	2	3	7	6
2	1	4.686	5.265	99,00	4	2	5	1	3	7	6
2	2	4.686	4.799	99,00	6	7	3	2	5	1	4
2	3	4.799	5.313	99,00	4	7	3	2	5	1	6
2	4	4.799	4.637	99,00	6	2	3	7	5	1	4
3	0	4.637	4.637	98,01	6	2	3	7	5	1	4
3	1	4.637	4.982	98,01	7	2	3	6	5	1	4
3	2	4.637	5.249	98,01	4	1	5	7	3	2	6
3	3	4.637	6.015	98,01	6	2	7	3	4	1	5
3	4	4.637	5.943	98,01	2	1	5	7	3	4	6
4	0	4.637	4.637	97,03	6	2	3	7	5	1	4
4	1	4.637	4.946	97,03	4	2	3	7	5	1	6
4	2	4.637	5.451	97,03	4	1	5	7	3	2	6
4	3	4.637	5.165	97,03	2	6	3	7	1	5	4
4	4	4.637	5.252	97,03	1	4	5	7	3	2	6
5	0	4.637	4.637	96,06	6	2	3	7	5	1	4
5	1	4.637	4.657	96,06	6	2	3	7	5	4	1
5	2	4.657	4.889	96,06	4	1	5	7	3	2	6
5	3	4.889	5.586	96,06	4	2	3	1	5	7	6
5	4	4.889	5.544	96,06	4	1	6	7	3	2	5

Tablo7’de geliştirilen rassal arama yönteminde ilk beş adıma ait sonuçlar paylaşılmıştır. İlk sıcaklık düşüş adımında rassal olarak seçilen başlangıç çözümündeki işlerin sıralaması 2-1-5-4-7-3-6 olmuştur. Bu sıcaklıkta yukarıda anlatılan dört farklı operatör kullanarak başlangıç çözümünden rassal arama ile farklı çözümler üretilmiştir. Tavlama benzetiminin temel algoritması rassal arama yönteminde de kullanılmış ve her sıcaklık düşüşünde elde edilen sonuç bir sonraki sıcaklık düşüş adımında başlangıç çözümü olarak kullanılmıştır. Böylelikle her sıcaklık düşüşünde 4 farklı operatör ile 4 farklı rassal çözümün taraması yapılmıştır.



**Tablo 8.**Tavlama Benzetimi Yöntemi İle Elde Edilen Çözümleri (Son 5 Adım)

		Amaç	Mevcut Amaç	Sıcaklık	1.İş	2.İş	3.İş	4.İş	5.İş	6.İş	7.İş
296	0	3.816	3.816	5,16	5	3	4	2	6	7	1
296	1	3.816	4.008	5,16	5	4	3	2	6	7	1
296	2	3.816	4.370	5,16	5	4	2	3	6	7	1
296	3	3.816	4.978	5,16	1	4	2	3	6	7	5
296	4	3.816	5.630	5,16	1	2	4	3	6	7	5
297	0	3.816	3.816	5,11	5	3	4	2	6	7	1
297	1	3.816	5.748	5,11	1	3	4	2	6	7	5
297	2	3.816	5.665	5,11	1	6	4	2	3	7	5
297	3	3.816	5.687	5,11	1	6	4	2	7	3	5
297	4	3.816	5.328	5,11	1	6	4	2	7	5	3
298	0	3.816	3.816	5,05	5	3	4	2	6	7	1
298	1	3.816	4.635	5,05	5	3	7	2	6	4	1
298	2	3.816	4.419	5,05	5	3	7	6	2	4	1
298	3	3.816	4.992	5,05	5	3	7	1	2	4	6
298	4	3.816	5.250	5,05	5	4	7	1	2	3	6
299	0	3.816	3.816	5,00	5	3	4	2	6	7	1
299	1	3.816	5.105	5,00	5	7	4	2	6	3	1
299	2	3.816	5.105	5,00	5	4	7	2	6	3	1
299	3	3.816	5.103	5,00	7	4	5	2	6	3	1
299	4	3.816	5.100	5,00	7	4	5	1	6	3	2
300	0	3.816	3.816	4,95	5	3	4	2	6	7	1
300	1	3.816	4.161	4,95	5	3	4	2	6	1	7
300	2	3.816	4.153	4,95	3	5	4	2	6	1	7
300	3	3.816	5.190	4,95	1	5	4	2	6	3	7
300	4	3.816	4.722	4,95	1	5	2	4	6	3	7

Tablo 8’de tavlama benzetimi ile elde edilen 300 sıcaklık düşüşü sonrasındaki sonuçların son 5 sıcaklık düşüşü tablo halinde verilmiştir, bu 5 sıcaklık düşüşünün de başlangıç çözümünün aynı olması 296’dan önceki bir sıcaklık düşüşünde bu sonuca ulaşıldığı ve bu elde edilen sonuçlar arasında en iyi sonucun 3816 olduğu görülmektedir. En iyi çözümün elde edildiği işlerin sıralaması ise 5-3-4-2-6-7-1 şeklinde olup son beş sıcaklık düşüşünde 0 numara ile gösterilen başlangıç çözümünde hepsinin aynı çözümü kullanıldığı görülmektedir.

**Tablo9.**Rassal Arama Yöntemi İle Elde Edilen Çözümleri (Son 5 Adım)

		Amaç	Mevcut Amaç	Sıcaklık	1.İş	2.İş	3.İş	4.İş	5.İş	6.İş	7.İş
296	0	3.778	3.778	5,16	5	3	6	4	2	7	1
296	1	3.778	4.046	5,16	5	3	6	2	4	7	1
296	2	3.778	5.747	5,16	1	7	2	4	6	3	5
296	3	3.778	4.148	5,16	6	3	5	4	1	7	2
296	4	3.778	5.663	5,16	1	7	2	4	6	5	3
297	0	3.778	3.778	5,11	5	3	6	4	2	7	1
297	1	3.778	5.303	5,11	5	7	6	4	2	3	1
297	2	3.778	5.687	5,11	1	7	2	4	6	3	5
297	3	3.778	5.266	5,11	2	4	6	3	5	7	1
297	4	3.778	5.687	5,11	1	6	2	4	7	3	5
298	0	3.778	3.778	5,05	5	3	6	4	2	7	1
298	1	3.778	5.324	5,05	5	1	6	4	2	7	3
298	2	3.778	5.687	5,05	1	7	2	4	6	3	5
298	3	3.778	5.325	5,05	4	1	6	5	2	7	3
298	4	3.778	5.687	5,05	1	4	2	7	6	3	5
299	0	3.778	3.778	5,00	5	3	6	4	2	7	1
299	1	3.778	4.364	5,00	5	3	2	4	6	7	1
299	2	3.778	5.687	5,00	1	7	2	4	6	3	5
299	3	3.778	4.148	5,00	6	3	5	4	1	7	2
299	4	3.778	5.682	5,00	6	7	2	4	1	3	5
300	0	3.778	3.778	4,95	5	3	6	4	2	7	1
300	1	3.778	4.610	4,95	5	4	6	3	2	7	1
300	2	3.778	6.221	4,95	1	7	2	4	6	3	5
300	3	3.778	4.444	4,95	5	2	6	4	3	1	7
300	4	3.778	5.105	4,95	5	7	2	4	6	3	1

Toplamda 300 sıcaklık düşüşü sonrasında durma kuralı işletildiği için son işlem adımı 300 adete ulaştığı için çalışma durdurulmuştur. Son beş sıcaklık düşüşüne bakıldığında hepsinin başlangıç çözümünün aynı olduğu

görülmektedir. Son beş sıcaklık düşüşünün tamamında aynı başlangıç çözümünün kullanılması 296 numaralı sıcaklık düşüşünden daha önce elde edildiğini göstermektedir. Son beş sıcaklık düşüşündeki işlemlere bakıldığında toplam tamamlanma süresinin 3778 br olduğu görülmüştür. Tavlama benzetimi ile 300 adet sıcaklık düşüşü sonucunda elde edilen en iyi sonuç 3816br iken geliştirilmiş rassal arama yöntemi ile elde edilen sonuç 3778br olmuştur. Rassal aramada farklı çözüm noktalarına hızlı hızlı atlayarak bu noktalarda alternatif çözümlerden en iyisini bulmayı hedeflemektedir. Aynı veri setleri, aynı sıcaklık düşüşü sayısı ve aynı komşuluk arama sayısı ile daha iyi sonuç elde edilmiştir.

Önerilen yöntem ile elde edilen sonuçlar ve tavlama benzetimi kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında önerilen yöntemin aynı işlem adımıyla daha düşük sonuca ulaşabildiği görülmüştür. İki yöntem birbirleriyle karşılaştırmak için başlangıç senaryosundaki işlem süreleri, temiz kalma süreleri ve ayar süreleri değiştirilmemiş sadece üretim adetleri değiştirilmiştir. Üretim adetlerinin değiştirilerek oluşturulan senaryolar Tablo 10’da verilmiştir.

**Tablo 10. Test Edilen Üretim Senaryoları**

	1.İŞ	2.İŞ	3.İŞ	4.İŞ	5.İŞ	6.İŞ	7.İŞ
<b>Senaryo-0</b>	11	12	13	14	15	16	17
<b>Senaryo-1</b>	11	12	13	14	15	16	27
<b>Senaryo-2</b>	11	12	13	14	15	26	17
<b>Senaryo-3</b>	11	12	13	14	25	16	17
<b>Senaryo-4</b>	11	12	13	24	15	16	17
<b>Senaryo-5</b>	11	12	23	14	15	16	17
<b>Senaryo-6</b>	11	22	13	14	15	16	17
<b>Senaryo-7</b>	21	22	23	24	25	26	27
<b>Senaryo-8</b>	31	32	33	34	35	36	37
<b>Senaryo-9</b>	41	42	43	44	45	46	47
<b>Senaryo-10</b>	51	52	53	54	55	56	57

Üretim adetleri değiştirilerek oluşturulan on farklı senaryo; tavlama benzetimi ve rassal arama yöntemi kullanılarak uygun çizelgeleme sonuçları araştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda her senaryo için ulaşılan sonuçların en küçük, ortalama ve en büyük değerleri Tablo 11’de verilmiştir.

**Tablo 11. Performans Karşılaştırması Sonucu**

	NORMAL			RASSAL		
	En Küçük	Ortalama	En Büyük	En Küçük	Ortalama	En Büyük
Senaryo-1	3337	4324	5679	3240	4110	5815
Senaryo-2	4262	5248	6895	4178	5028	6895
Senaryo-3	4334	5250	6783	4185	5083	6941
Senaryo-4	4252	5509	7235	4128	5236	7408
Senaryo-5	4555	5571	7408	4555	5782	7408
Senaryo-6	4999	5960	7836	4998	6319	7836
Senaryo-7	4102	5160	6757	4063	4947	6641
Senaryo-8	6604	8226	10694	6418	7778	10611
Senaryo-9	9589	11807	14840	9198	11698	15153
Senaryo-10	12427	15179	19105	11931	14413	19603

Tablo 11’de elde edilen sonuçlara bakıldığında rassal arama ile elde edilen sonuçların, tavlama benzerimi ile elde edilen sonuçlara göre her zaman daha küçük olduğu görülmüştür. Çalışma ilaç üretimi yapan işletmede doğrudan kullanılabilir bir yapıda olup, üretim süreleri, ayar süreleri, temiz kalma süreleri ve üretim miktarlarını değiştirilmesi ile firmada üretim çizelgelemesi yapan çalışanlarına yol gösterecek hale gelmiştir. Firma çalışanlarına alternatif çözümler sunarak farklı çizelgelemeler arasında geçiş yapıldığında toplam tamamlanma

zamanın ne kadar değişeceği hızlı bir şekilde sunulabilmektedir. İlerleyen dönemlerde yapılan çalışmaya ek olarak yeni üretim rotaları eklenebilir, ürün sayısı artırılabilir.

## VI. KAYNAKLAR

- [1] Eren, T. ve Güner, E. “İki ölçütlü beklemez akış tipi çizelgeleme problemi: toplam -tamamlanma zamanı ve maksimum gecikme”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu Bildiri Kitabı*, 231-236, 2005.
- [2] Fink, A. ve Voß, S. “Solving the continuous flow-shop scheduling problem by metaheuristics” *European Journal of Operational Research*, vol. 151, pp. 400-414, 2003.
- [3] Stützle, T. “An ant approach to the flow shop problem”. *In Proceedings of the 6th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing*, Vol. 3, pp. 1560-1564, 1998, September.
- [4] Acar, N. “Üretim Planlaması Yöntem ve Uygulamaları”, Ankara, Türkiye, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, 2000, 214s.
- [5] Kenneth R. Baker, Dan Trietsch, Principles of Sequencing and Scheduling, Newyork, USA, John Wiley & Sons, 2013.
- [6] Michael L. Pinedo, Planning and Scheduling in Manufacturing Services, Newyork, USA, Springer Science, 2005.
- [7] Kellegöz, Talip. “Toplam geç bitirme zamanının en küçüklenmesi performans ölçütlü permütasyon akış tipi çizelgeleme problemlerinin çözümünde genetik algoritma yaklaşımı”, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye, 2006.
- [8] Şerifoğlu, F. S., & Ulusoy, G. “Multiprocessor task scheduling in multistage hybrid flow-shops: a genetic algorithm approach.” *Journal of the Operational Research Society*, vol.55, no.5, pp. 504-512”, 2003.
- [9] Garey M R, Johnson D S, 1979. “Computers and intractability, Vol. 174. “San Francisco, USA, W.H. Freeman and Company, 2005.
- [10] S. Sayin and S. Karabati, “A bicriteria approach to the two-machine ow shop schedulingproblem”, *European Journal of Operational Research*, vol.113, pp. 435-449, 1999.
- [11] B. Toktaş, M. Azizoğlu, and S. Köksalan, “Two-machine flow shop scheduling with two criteria:Maximum earliness and makespan”, *European Journal of Operational Research*, vol. 157 pp. 286-295, 2004.
- [12] C. J. Liao, W.C. Yu, and C.B. Joe, “Bicriterion scheduling in the two-machine flowshop”, *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 48, pp. 929-935, 2004.
- [13] R. L. Daniels and R. J. Chambers, “Multi-objective flow-shop scheduling”, *Naval Research Logistics*, vol. 37, pp. 981-995, 1990.
- [14] K. Chakravarthy and C. Rajendran, “A heuristic for scheduling in a owshop with the bicriteriaof makespan and maximum tardiness minimization”, *Production Planning and Control* vol. 10, pp.707-714, 1999.

- [15] D. Ravindran, A. Noorul Haq, S. J. Selvakumar, and R. Sivaraman, "Flow shop scheduling with multi objective of minimizing makespan and total flow time", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* vol. 25, pp. 1007-1012, 2005.
- [16] T. Pasupathy, C. Rajendran, and R. K. Suresh, "A multi-objective genetic algorithm for scheduling in flow shops to minimize the makespan and total flow time of jobs," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* vol. 27, pp. 804-815, 2006.
- [17] T. Loukil, J. Teghem, and D. "Tuytens, Solving multi-objective production scheduling problems using metaheuristics", *European Journal of Operational Research* vol.161, pp. 42-61, 2005.
- [18] T. K. Varadharajan and C. Rajendran, "A multi-objective simulated-annealing algorithm for scheduling in flow shops to minimize the makespan and total flow time of jobs", *European Journal of Operational Research* vol.167, pp.772-795, 2005.
- [19] B. Yagmahan and M. M. Yenisey, "A multi-objective ant colony system algorithm for flow shop scheduling problem", *Expert Systems with Applications* vol.37, pp.1361-1368, 2010.
- [20] Sarıççek İ, Endüstriyel Çizelgeleme Dersi, 5, Erişim: <https://slideplayer.biz.tr/slide/2624694/>
- [21] Onan A, "Metasezgisel yöntemler ve uygulama alanları", c.17, s.2, ss.113-128, 2013.
- [22] Kirkpatrick, S., Gelatt, C. ve Vecchi, M.P. "Optimization by simulated annealing", *Science*, vol. 220. No. 4598. pp.671-680, 1983.
- [23] Buseti, F. "Simulated annealing overview", 2013. Erişim: <http://163.18.62.64/wisdom/Simulated%20annealing%20overview.pdf>, (11.09.2013),.
- [24] Henderson, D., Jacobson, S.H. ve Johnson, A.W. "The theory and practice of simulated annealing" "Glover et al. (eds) Handbook of Metaheuristics, Kluwer Academic Publishers", 2003.
- [25] Goffe, W.L., Ferrier, G.D. ve Rogers, J. "Global optimization of statistical functions with simulated annealing", *Journal of Econometrics*, vol. 60. No.1-2, pp.65- 99, 1994.
- [26] Kocamaz, M. ve Çiçekli, U.G. "Paralel makinaların genetik algoritma ile çizelgelenmesinde mutasyon oranının etkinliği" *Ege Akademik Bakış*, vol.10, no.1, pp.199-210, 2010.
- [27] Çelik, Y. "Optimizasyon problemlerinde bal arılarının evlilik optimizasyonu algoritmasının performansının geliştirilmesi", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye , 2013.