

**BİR İŞLETMEDE KİTLESEL ÖZEL ÜRETİME YÖNELİK  
HEDEF PROGRAMLAMA TABANLI ÜRETİM PLANLAMA**

**PRODUCTION PLANNING BASED ON GOAL  
PROGRAMMING FOR MASS CUSTOMIZATION IN A  
COMPANY**

**ESRA AKBAL**

Başkent Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
ENDÜSTRİ Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak hazırlanmıştır.

2007

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,  
Bu çalışma, jürimiz tarafından **ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Berna DENGİZ

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr. Muzaffer KAPANOĞLU

Üye : Prof. Dr. Serpil EROL

ONAY

Bu tez ...../...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri  
üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../.....

Prof.Dr. Emin AKATA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sırasında bilimsel katkıları ile bana her zaman yardımcı ve yol gösterici olan, eğitimim süresince ilgi ve yardımlarını benden esirgemeyen, değerli tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Muzaffer KAPANOĞLU'na sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Araştırma süresince büyük yardımlarını gördüğüm, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım "Türk Traktör Ziraat Makineleri ve A.Ő." firmasında Üretim Takip Alan Yöneticisi olan Sayın Halit Sinan ALTUĞ'a ve tüm üretim takip bölümü çalışanlarına teőekkürü bir borç bilirim.

Bana maddi ve manevi her türlü desteği veren aileme, en içten teőekkürlerimi ve őükranlarımı sunarım.

## ÖZ

### **BİR İŞLETMEDE KİTLESEL ÖZEL ÜRETİME YÖNELİK HEDEF PROGRAMLAMA TABANLI ÜRETİM PLANLAMA**

Esra AKBAL

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışmada traktör imalatı yapan bir işletmede, kitlesel özel üretime yönelik hedef programlama tabanlı üretim planlama yaklaşımının tasarımı ve geliştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Üretim planlama yaklaşımı, ürün üzerindeki müşteri isteklerini göz önüne alacak, ürün çeşitliliğini ve seri üretim ilkelerini gözetecek şekilde tasarlanmıştır. Üretim planlamaya özgü hedeflerin gerçekleştirilebilmesi amacı ile bir hedef programlama modeli geliştirilmiş ve bu hedef programlama modeli ile uyumlu bir şekilde çalışan bir Karar Destek Sistemi oluşturulmuştur.

Geliştirilen hedef programlama modelinin çözüm süresi, modelde yer alan karar değişkeni sayısının fazla olması nedeni ile kabul edilebilir sürelerin dışına çıkmaktadır. Bu nedenle farklı üretim planlarını oluşturma ve kısa sürede bu planlardan uygun olanını üretime yansıtabilme olanağı kalmamaktadır. Belirtilen gerekçeler doğrultusunda geliştirilen hedef programlama modelinin çözümüne yönelik yerel açgözlü arama ve genetik algoritma yaklaşımları üzerinde durulmuştur. Bu yaklaşımların performanslarını gözlemlemek amacı ile 12 ayrı problem seti oluşturulmuş ve her bir problem seti için sonuçlar elde edilmiştir. Gerçekleştirilen performans analizi sonucunda yerel açgözlü arama yaklaşımının genetik algoritma yaklaşımına göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ancak genetik algoritma yaklaşımının yerel açgözlü arama yaklaşımına göre çözüm süresinin daha kısa olduğu gözlemlenmiştir.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** üretim planlama, kitlesel özel üretim, genetik algoritma, yerel açgözlü arama

**DANIŞMAN:** Yrd. Doç. Dr. Muzaffer KAPANOĞLU, Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.

## **ABSTRACT**

### **PRODUCTION PLANNING BASED ON GOAL PROGRAMMING FOR MASS CUSTOMIZATION IN A COMPANY**

Esra AKBAL

Başkent University Institute of Science and Technology

Department of Industrial Engineering

In this study, a production planning approach which is based on goal programming intended for mass customization is designed and developed in a firm which works on tractor manufacturing. This production planning approach is developed according to customer's choices, product variety, and the principles of mass production. The goal programming model is developed to perform the goal of the production planning and the Decision Support System which works with this goal programming model is also performed.

The computation time of the goal programming model exceeds the time which is acceptable because of the too many decision variables which the goal programming model has. For this reason, the composition of different production plans and implementation of the appropriate production plan which is selected from those different production plans is not possible in a little while. In consideration of those reasons mentioned above, local greedy search and genetic algorithm approaches which are used for the solution of the goal programming model are considered. In order to observe the performances of the proposed approaches, different twelve problem sets are composed and the solutions of these problem sets are acquired. As a result of the performance analysis, it is seen that the local greedy search approach gives better solutions when compared to the ones which the genetic algorithm provides. But we observed that the computation time of the genetic algorithm is shorter than the local greedy search approach.

**KEY WORDS:** production planning, mass customization, genetic algorithm, local greedy search

**ADVISOR:** Assist. Prof. Dr. Muzaffer KAPANOĞLU, Osmangazi University, Industrial Engineering Department

## İÇİNDEKİLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR.....	i
ÖZ.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
TEKNİK DEYİMLER LİSTESİ.....	x
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KİTLESEL ÖZEL ÜRETİMDE PLANLAMA VE KONTROL.....</b>	<b>4</b>
2.1. Kitlese Özel Üretim.....	4
2.2. Çevik Üretim.....	7
2.3. Üretim Planlama ve Kontrolü.....	10
<b>3. TRAKTÖR ÜRETİMİ YAPAN BİR İŞLETMEDE ÜRETİM PLANLAMA.....</b>	<b>13</b>
3.1. İşletmede mevcut uygulama.....	13
3.2. Mevcut uygulamaya yönelik bir KDS tasarımı ve geliştirilmesi.....	17
<b>4. KİTLESEL ÖZEL ÜRETİME YÖNELİK HEDEF PROGRAMLAMA TABANLI ÜRETİM PLANLAMA YAKLAŞIMI.....</b>	<b>26</b>
4.1. Problem İçin Geliştirilen Matematiksel Model.....	26
4.2. Problem İçin Geliştirilen Hedef Programlama Modeli.....	29
4.3. Modelin Çözümünde Karşılaşılan Sorunlar.....	30
<b>5. GELİŞTİRİLEN HEDEF PROGRAMLAMA MODELİNİN ÇÖZÜMÜNE YÖNELİK ÖNERİLER.....</b>	<b>32</b>
5.1. Yerel Açgözlü Arama Yaklaşımı.....	32
5.2. Önerilen Yerel Açgözlü Arama Yaklaşımı.....	33
5.3. Genetik Algoritma.....	37
5.3.1. Genetik Algoritma'nın çalışma prensibi.....	37
5.3.2. Genetik Algoritma'nın temel kavramları.....	39
5.3.2.1. Gen.....	39
5.3.2.2. Kromozom.....	39
5.3.2.3. Yığın (Popülasyon).....	39
5.3.2.4. Yeniden Üretim İşlemi.....	39

5.3.2.5. Uygunluk Değeri.....	40
5.3.3. Genetik Algoritma'da dizi gösterimi ve gösterim biçimleri.....	40
5.3.4. Yeniden üretim mekanizmaları.....	41
5.3.5. Genetik operatörler.....	42
5.3.6. Genetik algoritma parametreleri.....	43
5.4. Önerilen Genetik Algoritma.....	43
5.4.1. Başlangıç yığını.....	48
5.4.2. Dizi gösterimi.....	48
5.4.3. Yeniden üretim mekanizması.....	49
5.4.4. Çaprazlama operatörü.....	49
5.4.5. Mutasyon operatörü.....	51
5.4.6. Genetik algoritma parametreleri.....	51
<b>6. UYGULAMALAR VE PERFORMANS ANALİZİ.....</b>	<b>52</b>
<b>7. SONUÇ.....</b>	<b>66</b>
KAYNAKLAR LİSTESİ.....	69
EKLER LİSTESİ.....	71

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	Çevik Üretimin Uygulanabilmesi için Kavramsal Model.....8
Şekil 2.2	Çevik Üretim Sistemlerinin Geliştirilmesi..... 9
Şekil 3.1	KDS'nin Ana Sayfası..... 18
Şekil 3.2	KDS'nin Üretim Günlerinin Belirlendiği Sayfa..... 19
Şekil 3.3	KDS'nin Üretim Günlerinin Belirlendiği Sayfa..... 19
Şekil 3.4	KDS'nin Traktör Miktarlarının Belirlendiği Kullanıcı Formu..... 20
Şekil 3.5	KDS'nde Üretim Miktarlarına İlişkin Bilgilerin Verildiği Kullanıcı Formu..... 20
Şekil 3.6	KDS'nde Karar Vericiye Bilgilerin Verildiği Kullanıcı Formu..... 21
Şekil 3.7	KDS'nde Karar Vericiye Uyarıların Verildiği Kullanıcı Formu..... 21
Şekil 3.8	KDS'nde Yerli Traktörlerin Üretim Bilgilerinin Gösterildiği Sayfa..... 22
Şekil 3.9	KDS'nde Üretim Miktarlarına İlişkin Bilgilerin Verildiği Kullanıcı Formu..... 23
Şekil 3.10	KDS'nde Üretim Miktarları Hakkında Bilginin Verildiği Uyarı Bölümü..... 24
Şekil 3.11	KDS'nde Karar Vericinin Bilgilerini Aktardığı Sayfa.....25
Şekil 3.12	KDS'nde Aylık Planın Sonuçlarının Gösterildiği Sayfa..... 25
Şekil 5.1	Önerilen Y.A.A.1 Algoritması İş Akışı..... 34
Şekil 5.2	Önerilen Y.A.A.2 Algoritması İş Akışı..... 36
Şekil 5.3	Önerilen GA İş Akışı..... 45
Şekil 5.4	Dizi Gösterimi..... 49
Şekil 5.5	Önerilen GA'ya İlişkin Çaprazlama Örneği..... 50
Şekil 5.6	Önerilen GA'da Çaprazlama Sonucu Oluşan Çocuklar.....51
Şekil 5.7	Önerilen GA'ya İlişkin Mutasyon Örneği.....51
Şekil 6.1	Y.A.A.1 Yaklaşımında İterasyon Sayısı ile Hedeften Sapma Değerlerinin Değişimi.....54
Şekil 6.2	Y.A.A.2 Yaklaşımında İterasyon Sayısı ile Hedeften Sapma Değerlerinin Değişimi.....55
Şekil 6.3	GA Metodunda İterasyon Sayısı ile Hedeften Sapma Değerlerinin Değişimi(Ocak Ayı)..... 56



Şekil 6.4	GA Metodunda İterasyon Sayısı ile Hedeften Sapma Değerlerinin Değişimi(Şubat Ayı).....	57
Şekil 6.5	Y.A.A. ve GA Yaklaşımlarının Hedeften Sapma Değerlerinin Grafik Gösterimi.....	58
Şekil 6.6	GA Yaklaşımının Betimsel İstatistik Çıktısı.....	59
Şekil 6.7	Y.A.A.1 Yaklaşımının Betimsel İstatistik Çıktısı.....	59
Şekil 6.8	Y.A.A.2 Yaklaşımının Betimsel İstatistik Çıktısı.....	60

## ÇİZELGELER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Seri Üretim ve Kitlesele Özel Üretim Arasındaki Farklılıklar.....	5
Çizelge 2.2 Kitlesele Özel Üretim Uygulanmasına Olanak Sağlayan Yaklaşımlar.....	7
Çizelge 6.1 Aylara göre toplam traktör modeli ve Karar Değişkeni Sayısı.....	52
Çizelge 6.2 Y.A.A.1, Y.A.A.2 ve GA Yaklaşımlarının Aylara Göre Hedeften Sapma Değerleri.....	53
Çizelge 6.3 GA, Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 Yaklaşımlarının Betimsel İstatistik Sonuçları.....	60
Çizelge 6.4 GA ve Y.A.A.1 Yaklaşımlarının Çiftli t- testi Sonuçları.....	61
Çizelge 6.5 GA ve Y.A.A.2 Yaklaşımlarının Çiftli t- testi Sonuçları.....	61
Çizelge 6.6 Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 Yaklaşımlarının Çiftli t- testi Sonuçları.....	62

## **SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ**

GA	Genetik Algoritma
Y.A.A.	Yerel Açgözlü Arama
KDS	Karar Destek Sistemi

## TEKNİK DEYİMLER LİSTESİ

- Pops: Traktörlerde sürücü platform tipi  
Ponte: Traktör tekerlerine güç veren, tekerlerin takıldığı ön dingil  
Firewall: Kaporta dayama mesnedi

## 1. GİRİŞ

Tüketici ürünlerindeki karmaşıklık, farklılık ve ürün çeşitliliği her geçen gün hızla artmaktadır. Dolayısıyla pek çok ortak noktaya ve aynı zamanda belirgin farklılıklara sahip ürünler ortaya çıkmaktadır. Firmalar pazarda etkili olabilmek ve gelişebilmek için bu durumu göz önünde bulundurmalı, müşteri isteklerini karşılayabilmek için uygun ürünleri üretmelidirler.

Ürünlerin müşteri isteklerine uygun olarak üretilmesine duyulan gereksinim, yakın zamanlara kadar seri üretim yapan firmaları, üretim yönetimi yaklaşımlarında önemli değişikliklere zorlamaktadır. Seri üretimin ekonomik üstünlükleri ile müşteriye özel üretimin pazar üstünlüklerini bir araya getirmek, söz konusu ortamdaki firmalar için iyi bir çıkar yol olarak görünmektedir [1]. Girişimde bulunan firmalar, siparişi aldıktan sonra ürün seçiminde farklılığı gösterebilecek ve bunu başarabilecek nitelikte olmalıdır.

Tüketiciler farklı tercihlere ve seçimlere sahiptir. Kitlesele özel üretim ise seçimlerle ilgilidir. Bu durumda firmalar müşteri ihtiyaçlarını hızlı bir şekilde karşılayabilmek için kitlesele özel üretimi değerlendirmeli ve göz önünde bulundurmalıdır.

Üretimde ve yönetimde kitlesele özel üretimi uygulama işi oldukça zordur. Öncelikle firmanın kitlesele özel üretim hakkında yeterli bilgiye sahip olması gerekir. Diğer bir deyişle firmaların belirli ve özel ürünlere ihtiyaç duyan müşterilerinin olup olmadığını, üretimlerinin ve ürettikleri ürünlerinin kitlesele özel üretimin özelliklerine uygun olup olmadığını ve kitlesele özel üretimi uygulayabilmek için yeterli teknolojiye sahip olup olmadıklarını araştırması gerekir [1].

Kitlesele özel üretimin uygulanmasına imkan veren bazı yöntem, işlem ve teknolojiler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birisi ise çevik üretimdir. Kitlesele özel üretim, ürün yönetiminde çevikliğin geliştirilmesi ile gelecekteki talepleri kontrol edebilme yeteneğini kuvvetlendirmeyi sağlamaktadır. Kitlesele özel üretim ile

müşteri taleplerine ve pazardaki değişikliklere hızlı bir şekilde cevap verebilme ve bu sayede çevikliği sağlama amaçlanmaktadır [1].

Üretim planlama ve kontrolü ise bir üretim yönetimi faaliyetidir ve belirli ürünlerin üretilmesi için gerekli tüm araçların tespiti, değerlendirilmesi ve düzenlenmesini içerir. Müşteri isteklerini, beklentilerini ve ihtiyaçlarını hızlı bir şekilde karşılayabilmek için firmaların üretim planlama ve çizelgeleme faaliyetlerinde kendi sistemlerine uygun metotları ve teorileri değerlendirmeleri gerekmektedir.

Bu tezde, traktör imalatı yapan bir işletmenin, ürün üzerindeki müşteri isteklerini göz önüne alarak ürün çeşitliliğinden vazgeçmeden ve olabildiğince seri üretim ilkelerini de gözetilen bir üretim planlama yaklaşımının tasarımı ve geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Söz konusu amaç doğrultusunda üretim planının siparişlere göre ürünleri olabildiğince homojen dağıtımının sağlanması, satış tahminlerine, talep tarihlerine ve stok bilgilerine göre modellere paylaşılması, günler arasında iş yükü dengelerinin gözetilmesi hedeflenmektedir. İşletme tarafından benimsenen ve çevik üretime yönelik üretim planlamaya özgü hedefler, bir hedef programlama modeli ile gerçekleştirilecektir. Tez kapsamında aylık üretilmesi gereken yabancı ve yerli traktör sayısı bilgileri kullanılarak, tüm üretim kısıtlarını göz önüne alacak şekilde, aylık üretimin günlere dağıtılmasını gerçekleştiren bir hedef programlama modelinin ve bu hedef programlama modeli ile uyumlu bir şekilde çalışan bir Karar Destek Sistemi(KDS)'nin oluşturulması amaçlanmaktadır. Üretim planlamanın uygulama başarısını arttırmak için ise MS Excel, VBA ve Lingo ortamlarında bir KDS geliştirilmiştir.

İkinci bölümde kitlesel özel üretim kavramı ve bu konuda yapılmış çalışmalar, kitlesel özel üretimin uygulanmasına imkan veren çevik üretim kavramından bahsedilmektedir. Ayrıca üretim planlama ve kontrolü hakkında kısa bir bilgi ve bu konuda yapılmış çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir.

Üçüncü bölümde traktör üretimi yapan işletme, işletmede üretim planlama faaliyetleri, planlamanın nasıl gerçekleştirildiği ve hangi kısıtların dikkate alındığı,

kısacası işletmenin mevcut durumu hakkında bilgiler verilmektedir. Bununla birlikte tez kapsamında mevcut uygulamaya yönelik tasarlanan ve geliştirilen KDS anlatılmaktadır.

Dördüncü bölümde üretim planlama bölümünün ölçütlerine uyacak şekilde ve kitlesel özel üretime yönelik geliştirilen matematiksel model ve hedef programlama modeli verilmekte ve bu modellerin ayrıntılı bir şekilde açıklamaları yer almaktadır. Oluşturulan modellerin tamsayılı olması çözüm aşamasında, diğer pek çok tamsayılı programlama problemlerinde olduğu gibi, çözüm süresi açısından tatmin edici olmayabilmektedir. Bu bölümde problem, bu boyutları ile de tartışılmaktadır.

Beşinci bölümde geliştirilen hedef programlama modelinin çözümünde kullanılan yaklaşımlar, bu yaklaşımların probleme yönelik çözüm algoritmaları anlatılmaktadır. Kullanılan yaklaşımlar Yerel Açgözlü Arama 1 yaklaşımı (Y.A.A.1), Yerel Açgözlü Arama 2 yaklaşımı (Y.A.A.2) ve Genetik Algoritma (GA)'dır.

Altıncı bölümde her iki yaklaşımdan elde edilen çözümlerin birbirleriyle istatistiksel olarak karşılaştırmaları ve aynı zamanda yaklaşımların değerlendirilmesi yer almaktadır.

Yedinci bölümde tezin bir bütün olarak sonuçları ve değerlendirilmesi yer almaktadır.

## 2. KİTLESEL ÖZEL ÜRETİMDE PLANLAMA VE KONTROL

### 2.1 Kitlesele Özel Üretim

Kitlesele özel üretim kavramı ilk olarak 1987 yılında Stanley M. Davis 'in "Future Perfect" adlı kitabında açıklanmıştır. 1993 yılından sonra birçok ilgili bilgi ve teknoloji ile üretim stratejisinin bu yeni trendinde ilerleme sağlanmıştır. Seri üretim ise kitlesele özel üretimin öncüsü olmuştur [2].

Seri üretim, verimlilik, kapasite kullanımı ve standart ürünler üzerine odaklıdır. Kitlesele özel üretim ise, seri üretimin etkinliğini ve dolayısı ile ekonomikliğini kullanarak müşteri ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılayabilecek ürünleri veya hizmetleri sağlamak için endüstride yeni bir kavram olarak ortaya çıkmıştır. Kitlesele özel üretimin rekabetçi avantajı, özel üretimin farklılaştırma imkanları ile seri üretimin etkililiğini birleştirmektir. Kitlesele özel üretimin ana yapısı çeşitlilik açısından seri üretime benzemektedir. Kitlesele özel üretimde ürünler ve işlemler dinamik olarak değişmektedir. Seri üretim, ürün ve işlem değişimlerinin durağan olduğu durumlarda uygundur [3].

Üretici firmalar, standartlaştırma prensiplerinin dikkate alındığı seri üretimi kullanmışlardır. Bu üretim şekli, standart ürünlere, servislere ve düşük maliyete sahiptir. Seri üretim ve kitlesele özel üretim arasındaki farklılıklar Çizelge 2.1'de verilmektedir. Farklılıklar odak, amaç ve anahtar özellikler açısından gösterilmektedir [4].



Çizelge 2.1 Seri Üretim ve Kitlesele Özel Üretim Arasındaki Farklılıklar [3]

	<b><i>Seri Üretim</i></b>	<b><i>Kitlesele Özel Üretim</i></b>
<b><i>Odak</i></b>	Durağanlık ve kontrol sayesinde verimlilik	Çeşitlilik ve özel üretim aracılığıyla esneklik ve hızlı cevap verebilme
<b><i>Amaç</i></b>	Herkesin karşılayabileceği ölçüde düşük fiyatlarda ürünlerin ve servislerin geliştirilmesi, üretimi, pazarlanması, dağıtımı	Herkesin isteklerini karşılayabilecek şekilde yeterli çeşitlilik ve özelleştirme ile ürünlerin ve servislerin geliştirilmesi, üretimi, pazarlanması, dağıtımı
<b><i>Anahtar Özellikler</i></b>	Durağan Talep Büyük ve homojen pazar, Uzun ürün gelişim süreci Uzun ürün ömrü	Parçalanmış Talep, Heterojen parçalar, Kısa ürün gelişim süreci Kısa ürün ömrü

Kitlesele özel üretim, Silveria et al., [1] tarafından, büyük miktarlarda ve oldukça düşük maliyetle esnek işlemler aracılığı ile özelleştirilmiş ürünleri veya servisleri sağlayabilme yeteneği olarak tanımlanmıştır.

Kitlesele özel üretimin diğere bir tanımı ise Partanen and Haapasalo [5] tarafından belirlenmiştir. Partanen and Haapasalo [5] kitlesele özel üretimi, özel müşteriler için özel ürünler ve bu ürünlerin seri üretim prensipleri ile üretilmesi şeklinde tanımlamışlardır. Çalışmalarında ise seri üretim ve kitlesele özel üretim arasındaki farklılıklardan, kitlesele özel üretimin elemanlarından bahsetmişlerdir.

Kitlesele özel üretim, müşteri isteklerine uygun hale getirilmiş ürünlerin ve servislerin düşük maliyet, yüksek kalite ve büyük miktarlarda dağıtımı olarak belirlenmiştir. Tanımdan da anlaşılacağı gibi kitlesele özel üretim firma için birçok beceriye ve avantaja sahiptir. Organizasyonun kitlesele özel üretim becerisi, maliyet etkililiği ve firmanın hevesliliği ile birlikte farklılaştırılmış ürünleri üretebilme yeteneği olarak belirlenmiştir [6]. Bunların sonucunda kitlesele özel üretimin avantajları kısaca aşağıda belirtildiği gibidir [7].

Kitlesel özel üretim;

- müşteri memnuniyetini artırır,
- pazar payını artırır,
- firma ve satın alma süresindeki kişiler ile ilgili bilgileri yani müşteri bilgisini artırır,
- siparişi karşılama zamanını azaltır,
- üretim maliyetini azaltır, karı artırır.

Üretim yönetiminde kitlesel özel üretim, seri üretim ve standartlaştırma prensiplerini özel üretim ile birleştirme işlemidir. Dell, Motorola, Hewlett-Packard, General Motors, Ford, Chrysler, Toyota ve bunlar gibi büyük firmalar üretim ve yönetimlerinde bu işlemi etkili bir şekilde uygulamaktadırlar. Kitlesel özel üretim, seri üretimin maliyet ve hızına uygun olarak müşteri ihtiyaçlarına göre tasarlanmış ürünleri üretebilme yeteneğidir [8].

Üretim yönetiminde kitlesel özel üretim hakkında literatürde sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır. Selladurai [4], kitlesel özel üretimin üretim yönetimi açısından ele alınması gerektiği üzerinde durmaktadır ve seri üretimden kitlesel özel üretime olan ilerlemeden, seri üretim, sürekli iyileştirme ve kitlesel özel üretim konularından bahsetmiştir.

Kitlesel özel üretim müşterinin tüm isteklerini zaman, yer ve sunum kısıtı olmadan en iyi şekilde karşılamayı amaçlamaktadır. Buna bağlı olarak kitlesel özel üretim, farklı bir yönetim, üretim, iletişim kültürü ve tedarik zinciri yapısı gerektirmektedir. Kitlesel özel üretimin uygulanmasına imkan veren bazı üretim yönetimi yaklaşımları ve teknolojiler bulunmaktadır. Bu üretim yönetimi yaklaşımları ve teknolojiler Çizelge 2.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 Kitlesele Özel Üretim Uygulanmasına Olanak Sağlayan Yaklaşımlar [1]

<b>SAĞLAYICI TEKNİKLER</b>	<b>İLİŞKİLİ BAŞARI FAKTÖRLERİ (organizasyon tabanlı)</b>
<b>Üretim Yönetimi Yaklaşımları</b>	
Çevik Üretim	Bilgi
Tedarik Zinciri Yönetimi	Değer zinciri
Müşteriye bağılı tasarım ve üretim	Özelleştirilebilir ürünler
Esnek Üretim	Değer Zinciri
<b>Olanak Sağlayan Teknolojiler</b>	
Modern Üretim Teknolojileri	Teknoloji, Özelleştirilebilir ürünler
İletişim ve Ağlar	Teknoloji ve Bilgi

Kitlesele özel üretim, ürün yönetiminde çevikliğin geliştirilmesi ile gelecekteki talepleri kontrol edebilme yeteneğini kuvvetlendirmeyi sağlamaktadır. Kitlesele özel üretim ile müşteri taleplerine ve pazardaki değişikliklere hızlı bir şekilde cevap verebilme ve bu sayede çevikliği sağlama amaçlanmaktadır.

## 2.2 Çevik Üretim

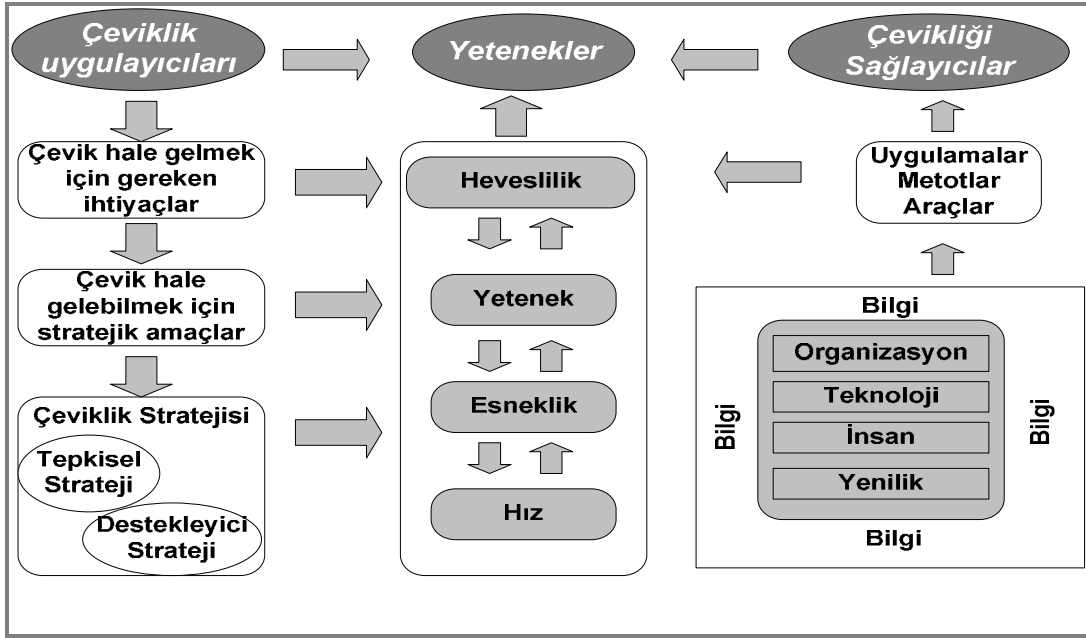
Çevik üretim, firmalar arasında rekabeti geliştiren bir kavramdır. Çevik üretim, iş çevresinde fırsatları, değişiklikleri uygulama açısından organizasyonların yeteneği olarak tanımlanmaktadır.

Çeviklik, kaynakların ve işlemlerin yeniden şekillendirilmesi ile müşteri ihtiyaç ve isteklerine rakiplerden daha hızlı cevap verebilme yeteneğidir. Çevik üretim çerçevesi altında üretim işlemleri, ürün tasarımı, üretimi, pazarlaması ve destekleyici servisleri için işlemlerin bütünleştirilmesi olarak belirlenmiştir [9].

Değişen müşteri isteklerine cevap verebilmede etkili olabilmek için üretimin her alanında çevikliğin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Çevikliği

uygulayabilme, strateji, sistem, insan ve teknolojiye esneklik ve sorumluluk gerektirmektedir [10].

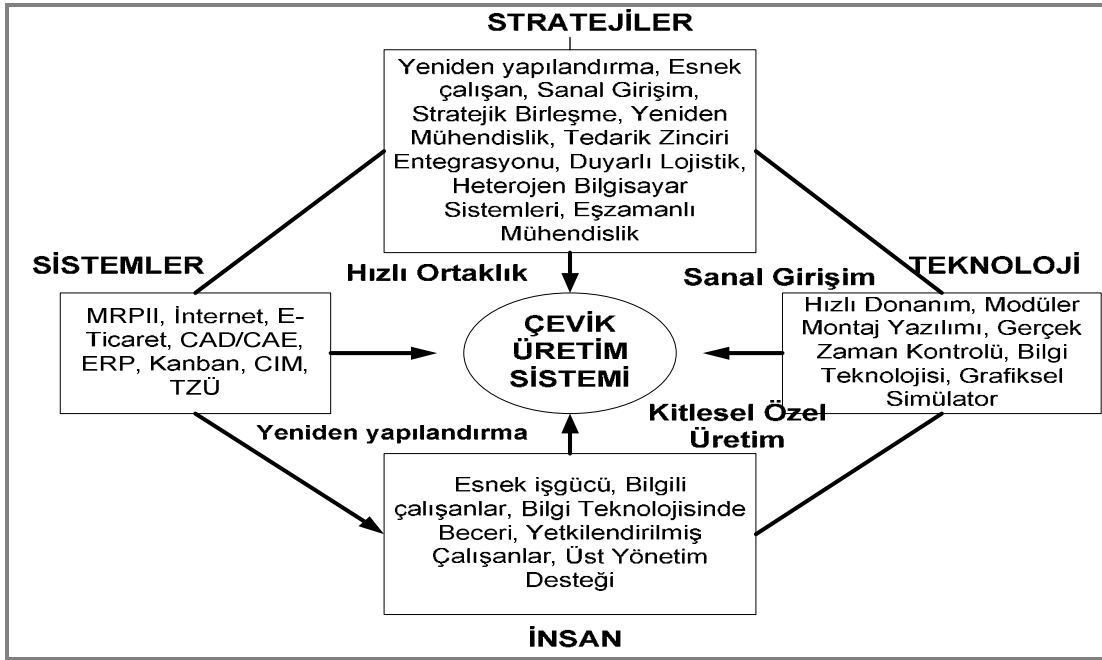
Üretim çevresinde, mevcut üretim metotlarının ve araçlarının bütünleştirilmesi ve kullanımı çevikliği sağlamaktadır. Çevikliğin uygulanması için belirlenen kavramsal model Şekil 2.1’de verilmektedir [7].



Şekil 2.1 Çevik Üretimin Uygulanabilmesi için Kavramsal Model [7]

Firmalar, çevik üretimin uygulanması kısmında üç ana aşamayı dikkate almalıdır. Bu aşamalar Şekil 2.1’de görüldüğü gibi firmaların çevik duruma gelebilmeleri için gereken ihtiyaçlarının belirlenmesi, mevcut çeviklik aşamaları ve çeviklik yeteneklerinin belirlenmesidir [7].

Hızla değişen pazarda girişimcilerin lider olabilmeleri için çevik üretimi göz önünde bulundurmaları gerekmektedir. Bunun sonucunda etkili üretim sistemleri ve operasyonların tasarımı için yeni tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesi gerekmektedir [10]. Bu yaklaşımlar ise Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Çevik Üretim Sistemlerinin Geliştirilmesi [10]

Çevik üretimin temel stratejik boyutları ise şu şekildedir [10]:

- Müşteri değerinin artırılmasında değer tabanlı stratejiler,
- Rekabeti arttırmak için işbirliği yapmak,
- Temel değişiklikler ve belirsizlikler için düzenleme yapmak,
- İnsan ve bilginin etkisini güçlendirmek.

Çevik üretimin uygulanması aşamasında üretim planlama ve kontrol için aşağıdakiler göz önünde bulundurulmalıdır [10]:

- Sürekli müşteri etkisinin modellenmesi,
- Gerçek zamanlı izleme ve üretimde ilerlemenin kontrol edilmesi,
- Esnek veya dinamik şirket kontrol yapısı,
- Üretim çizelgeleme yapısı ve algoritmalar,
- Üretimin ve kontrol sisteminin modellenmesi.

Belirtilen özellikleri ile çevik üretim kitleleşmiş özel üretime yönelik stratejilerin önemli bir parçası olmaya devam etmektedir. Ancak çevik üretimin genel ilkelerinin ötesinde üretim planlama ve envanter kontrolü, sipariş çizelgeleme, bant

dengeleme gibi bir dizi temel üretim yönetimi temel işlevinin yeniden ele alınması da doğal olarak bir gereklilik haline gelmektedir.

### **2.3 Üretim Planlama Ve Kontrolü**

Üretim yönetimi, bir işletmenin elinde bulunan malzeme, makine ve işgücü kaynaklarının belirli miktarda, istenilen kalitede, istenilen zamanda ve en düşük maliyetle üretimini sağlayacak şekilde bir araya getirilmesidir.

Üretim planlama ve kontrolü ise bir üretim yönetimi faaliyetidir ve belirli ürünlerin üretilebilmesi için gerekli tüm araçların tespiti, değerlendirilmesi ve düzenlenmesini içerir. Üretim planlama, işletmenin belirli bir dönem içerisinde üretmek istediği ürün miktarının belirlenmesi ve kontrol altında tutulmasıdır. Üretim planlaması, hangi ürünlerin, nerede, kimler tarafından, ne zaman ve nasıl üretileceğini gösteren planların hazırlanmasıdır. Üretim planlamanın amacı, üretimde aksamalara izin vermeden, düzen içinde yürümesini, gereksiz faaliyetlerin elenmesini ve üretime ilişkin her türlü faaliyetin birbiriyle uyum içinde olmasını sağlamaktır.

Planlama, üretimi yapılacak ürün hakkındaki verilerin analiziyle başlar. Belirlenmiş olan hedeflere ulaşmak üzere kaynakların kullanımı bir program hazırlanarak ana hatlarıyla verilir. Yani üretim planı, üretimin her kademesi için hedefleri, belirli zaman aralıkları açısından ortaya koyar. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesi de ana hedefi destekler. Üretim planlamada, üretim programının hazırlanması aşamasında işletmede belirli bir plan dönemi içinde hangi ürünlerin, hangi miktarlarda ve ne zaman üretileceğini gösteren programlar hazırlanır.

Gazmuri and Arrate [11], çalışmalarında bütünleştirilmiş üretim planlama probleminin en iyilenmesi için bir KDS geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, üretim planlama problemi tamsayı programlama modeli olarak modellenmiştir. Bu uygulama, Şili'de büyük bir firma olan CTI firmasındaki üretim planlama mühendisleri tarafından bütünleştirilmiş planlama kararları ve üretim işlemlerinin benzetim analizi için 1995 yılında kullanılmıştır.

Tu [12], yaptığı çalışmada üretim planlama ve kontrolü için referans kontrol yapıları, temel kavramlar ve metotlar geliştirmiştir. Tek çeşit üretim yapan sistemin tüm işleyişi süresince sıkça gerçekleşen değişikliklerin ve dalgalanmaların üstesinden gelebilmek için, üretim planlama ve kontrolü sisteminin yapılandırılmasında dinamik hiyerarşi kontrol yapısı kavramı önermiştir. Bu referans yapı, yalın, çevik ve küreselleşebilmede yönetime rehber olması için önerilmiştir.

Bir başka çalışmada çok aşamalı, karışık modelli üretim sistemlerinde fabrika ve yönetim değişkenlerinin etkisinin analiz edilmesi gerçekleştirilmiştir (Sianesi, [13]). Karışık modelli hatlar, birçok farklı ürünün büyük miktarlarda stokları taşınmadan üretilmesi için kullanılırlar. Bu hatların etkili bir şekilde kullanımı belirlenen farklı ürünlerin montajlarının yapılması için çizelgelenmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada, çizelgeleme için teorik bir alt yapı, yeni bir çizelgeleme algoritması ve sezgiseli geliştirilmiştir.

Zapfel [14], yaptığı çalışmada bir yatırım modeli önermiştir. Son yıllarda firmalar, rekabetçi avantaj yakalamak için ürün çeşitlerinin sayılarını arttırmaktadırlar. Ancak bu durumda planlama dönemi boyunca, ayrı ürünlerin seviyelerinde talebin tahmin edilmesi çok zor hale gelmektedir. Yatırım modeli, bu kararı desteklemesi açısından önerilmiştir.

Ding and Tolani [15], ise yaptıkları çalışmada bir zaman dilimi boyunca montaj hattında farklı modellerin çizelgelenmesi açısından üretim planlama problemini ele almışlardır. Bu problemde, her bir modelin planlama zamanı içerisinde üretim günlerinin verilen bir aralığına sahip olduğu varsayılmaktadır. Bu çalışmada, mevcut çözümün üretilmesini sağlayan ve bu çözümü iyileştiren iki aşamalı sezgisel bir prosedür geliştirilmiştir. Buradaki amaç düzgün bir üretim çizelgesinin elde edilmesi ve üretim günleri aralığında kısıtların değerlendirilmesidir.

Diğer bir çalışma ise Caridi and Sianesi'nin [16], yaptıkları bir uygulamadır. Bu çalışma üretim düzgünleştirme ile ilgilidir ve başarının anahtarının tam zamanında üretim ve yalın üretim olduğunu belirtmektedirler. Bu çalışmanın ana konusu,

karışık modelli montaj hatlarının sıralanmasında, kısa dönem üretim planlama problemi için otonom ajan teorisinin uygulanmasıdır. Çalışmada, karışık modelli hatların kısa dönemli üretim planlama problemi için üç farklı yaklaşım gösterilmiştir.

Pazara duyarlı üretim (Responsive Manufacturing) için çok ajanlı imalat kontrol stratejisinin önerildiği başka bir çalışmada, üretim çizelgeleme ve işlem planlamanın bütünleştirilmesi, çevik üretimin başarılması ve üretim problemlerinin en aza indirilmesi sağlanmaktadır. Bu çalışma, çok ajanlı sistem kavramına dayalı olarak geliştirilmiştir. Çok ajanlı sistemlerin adapte edildiği bu çalışmada, işlem planlama, çizelgeleme ve eniyileme ile ilgili olan bütün işler otonom ajanlar tarafından yapılmaktadır (Lim and Zang, [17]).

Son olarak Le et al. [18], yaptıkları çalışmada, pazara üretim yapan firmalar ve ürün çeşitliliğinden kaynaklanan, tahmin edilemeyen talepler üzerine üretim planlama problemini ele almışlardır. Çalışmada, bu tür problemlerin aşılmasında yardımcı olacak, hızlı ve güçlü bir şekilde uygulanabilecek bir üretim planlama metodolojisi anlatılmaktadır. Üretimde ve taleplerde meydana gelen değişimlerin hızlı bir şekilde değerlendirilmesi açısından bir üretim planlama aracı önerilmiştir.



### **3. TRAKTÖR ÜRETİMİ YAPAN BİR İŞLETMEDE ÜRETİM PLANLAMA**

Çalışmanın gerçekleştirildiği traktör üretimi yapan işletme yıllık 35.000 adet traktör ve 25.000 adet motor üretim kapasitesine sahiptir. İşletmede dört ana seride geniş opsiyon seçeneklerine sahip traktörler üretilmektedir. Bu kapsamda izleyen bölümlerde işletmede üretimin planlanması ile takibinin nasıl gerçekleştirildiği ve tez kapsamında mevcut uygulamaya yönelik geliştirilen KDS anlatılmaktadır.

#### **3.1 İşletmede Mevcut Uygulama**

Traktör üretimi yapan işletmede kişiye özel üretim ilkesi ile üretim yapılmaktadır. Bu nedenle üretilen ürünlerin model sayısı çok fazladır. Model sayısının fazla olması ve üretilen ürünlerin farklı olması nedeni ile üretimin planlanması ve takibi çok zor bir hale gelmektedir. Çünkü malzemelerin tedarik edilmesi ve ürün çeşitlerinin fazla olması sürekli olarak aylık plan üzerinde değişikliğe neden olmaktadır.

İşletmede, üretim planlama bölümünden her ay toplam üretim miktarı, üretilmesi gereken traktör modellerinin üretim miktarları üretim takip bölümüne gelmektedir. Üretim takip bölümüne gönderilen bilgilerin tümü aşağıdaki gibidir:

- Aylık yerli ve yabancı üretilmesi gereken toplam traktör miktarı,
- Firmada üretilen 56 ve 66 seri traktörlerin aylık üretilmesi gereken % oranları,
- Günlük üretilmesi gereken toplam traktör miktarı.

Üretim takip bölümüne gelen bu bilgiler doğrultusunda üretim planı aylık ve günlük olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Aylık üretim planı ise iki aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk aşamada yerli traktörlerin üretilmesi gereken miktarları günlere dağıtılmakta, ikinci aşamada ise yabancı traktörlerin üretilmesi gereken miktarları günlere dağıtılmaktadır. Ancak bu dağıtım bazı kısıtlar ve özel durumlar göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmektedir.

Yerli traktörlerin aylık üretim planları gerçekleştirilirken aşağıdaki kısıtlar ve özellikler dikkate alınmaktadır:

- Planı gerçekleştiren kişi ilk olarak ayın çalışma günlerini, üretilmesi gereken traktör modellerini ve miktarlarını belirlemektedir.
- Daha sonra her bir traktör modelinin miktarını günlere eşit olarak bölmektedir. Burada dikkate alınan kısıtlardan biri üretilmesi gereken toplam traktör miktarının günlere olabildiğince eşit bir şekilde dağıtılmasıdır. Diğer bir kısıt ise 56 ve 66 serisi günlük toplam traktör miktarının 5'in katı olmasıdır.
- Yerli programın dağıtımı mavi yakalı operatör tarafından belirlenen kısıtlara göre gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler yapılırken Ms Excel'den yararlanılmakta ve dağıtım gerçekleştirildikten sonra Access ortamına aktarılmaktadır.
- Günlük üretilmesi gereken toplam traktör miktarı her ay değişebilmektedir. Ayrıca günlük ve dolayısı ile aylık 56 ve 66 serisi toplam traktör miktarı 5'in katları şeklinde olmalıdır.
- Aylık üretim planı gerçekleştirilirken yerli traktörlerin 2 parçasına ilişkin stoklar dikkate alınmaktadır. Bunlar; ponte ve kabindir. Ponte ve kabin parçalarının stoklarında veya tedarik edilmesinde bir sorun var ise bu durum göz önünde bulundurulmaktadır. Eğer üretilecek traktör modeli sorun olan ponte veya kabin özelliğine sahip ise bu traktör modeli dağıtım yapılırken tedarik zamanına uygun olarak dağıtımı yapılmaktadır.
- Üretilmesi gereken toplam traktör modellerinin miktarları günlere eşit bir şekilde dağıtılırken planı gerçekleştiren kişi rops ve kabin miktarlarını kontrol etmekte ve dağıtımı bu duruma göre gerçekleştirmektedir.
- Yerli traktörlerde sadece ponte ve kabin parçaları dikkate alınmakta, motor parçası dikkate alınmamaktadır. Çünkü yerli traktörlerin motorları fabrikada üretilmekte ancak ponte ve kabin dışardan temin edilmektedir. İleride bu parçaların da üretiminin fabrika bünyesinde yapılması planlanmaktadır.

Yabancı traktörlere ilişkin planlama ise aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmektedir:

- Yerli traktörlerin dağıtımı tamamlandıktan sonra yabancı traktörlerin dağıtımı yapılmaktadır.

- Yabancı traktörlerin dağıtımı da eldeki stoğa bağlı olarak ve talep tarihi dikkate alınarak yapılmaktadır.
- Dağıtım aşamasında özel bir istek olursa bu özel durumlar dikkate alınmaktadır.
- Yabancı traktörlerin aylık üretilmesi gereken miktarları üretim takip bölümüne bilgi olarak gelmektedir. Üretilmesi gereken yabancı traktörlerin belirlenmesi yerli traktörlere göre çok daha farklı gerçekleştirilmektedir.
- Yabancı traktörlerin dağıtımı yapılmadan önce ilk olarak üretilen traktör modelleri belirlenmektedir. Üretilen traktör modelleri belirlenirken kabinli ve ropslu traktörlerin üretim miktarları dikkate alınmaktadır. Çünkü buradaki kısıt toplam 66 serisi ropslu traktörlerin sayısının tüm ay boyunca her gün için sabit bir şekilde gerçekleşmesidir. Bu nedenle üretilmesi gereken ropslu traktör modellerinin bu sayıya göre belirlenmesi gerekmektedir.
- Bunun yanında aylık üretilmesi gereken traktör modelleri belirlenirken talep tarihi sırası dikkate alınmaktadır.
- Üretilen traktör modelleri belirlendikten sonra yerli traktörlerde olduğu gibi olabildiğince eşit bir şekilde dağıtım yapılmaktadır. Ancak dağıtım yapılırken yerli traktörlerden farklı olarak ponte, kabin ve motor parçaları dikkate alınmaktadır.
- Tüm bu durumların yanında üretilmesi gereken toplam 56 ve 66 serisi traktörlerin günlük üretim miktarlarınının 5' in katı şeklinde olması gerekmektedir. Dağıtım yapılırken bu durumda göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Çünkü 56 serisi ve 66 serisi traktör modellerinin içinde hem yerli hem de yabancı traktör modelleri bulunmaktadır.

Günlük üretim planı ise aylık üretim planı üzerinden güncellenerek ve parça stoklarına bakılarak yapılmaktadır. Bir günün planı önceki gün yapılmakta ve önceki gün eldeki stok miktarları üretim planı gerçekleştirilmeden önce bilgi olarak gelmektedir. Stok miktarları gelen parçalar yani dikkate alınan parçalar ise şu şekildedir:

- Rops,
- Kaporta listesi,
- Firewall,

- Baskılar,
- Platform ayakları,
- Ponte ön-arka mesnet, şaft mili,
- Kablolar,
- Radyatör,
- 56 kabinler.

Bu parçaların stok miktarları ve o gün üretilmesi gereken traktör miktarları karşılaştırılmakta ve eğer elde traktörün üretilebilmesi için yeterli stok yoksa üretim planında değişiklikler yapılmaktadır. Ancak değişiklik yapılmadan önce parçanın tedarik edilmesi gibi bir durum var ise değişiklik bu duruma göre yapılmaktadır ya da parçanın ne zaman tedarik edileceği gibi bir bilgi varsa üretim planı bu bilgiye göre değiştirilmektedir. Ayrıca günlük stok miktarları kontrol edilirken sadece bir sonraki günün üretimi düşünülmemektedir. Eğer ilerideki üretimler için stok miktarı yeterli değil ise sipariş verilmesi için diğer birimlere bilgi verilmektedir. Yani kontrol uzun dönemli yapılmaktadır. Günlük üretim planında değişiklikler yapılırken modellerin özelliklerine göre değişiklikler yapılmaktadır. Üretimi aksatmayacak şekilde üretimden kaldırılan modelin özelliklerine benzer özellikteki modeller üretime aktarılmaktadır.

İşletmede mevcut duruma ilişkin üretim planının akışı aşağıda açıklanmaktadır. Ayrıca üretim planı iş akışı Ek 1’de verilmektedir.

#### Üretim Planı Akışı:

Adım1: Üretim planının gerçekleştirileceği ay ve günleri belirle.

Adım2: Üretilen yerli ve yabancı traktör modellerini, toplam üretim miktarlarına göre, 56 ve 66 serisi toplamlarının 5’ in katı olacak ve 66 serisi roplu traktörlerin günlük üretim sayısı belirlenen miktarda olacak şekilde talep tarihi sırasına göre belirle.

Adım3: Üretim planının gerçekleştirildiği ay için yabancı traktör modellerinde eğer yeterli sayıda roplu veya kabinli traktör modeli yok ise bu traktör modellerini bir sonraki ayın verilerinden talep tarihi sırasına göre al.

Adım4: Ponte, kabin ve motor parçalarının stoklarının yeterli olup olmadığını kontrol et. Yeterli stok bulunmayan veya tedarik edilmesinde sorun olan parçalar var ise bu parçaların kullanıldığı traktör modellerini belirle.

Adım5: 56 ve 66 serisi traktör modellerini ve bu modellerin üretilmesi gereken günlük miktarlarını belirledikten sonra her modelin ayın her günü için olabildiğince düzgün bir şekilde dağıtımını gerçekleştir. Ancak dağıtım gerçekleştirirken aşağıdaki kısıtları değerlendir:

Adım5.1: 66 serisi ropslu traktör modellerinin toplam günlük miktarının belirlenen sayıda olup olmadığını kontrol et.

Adım5.2: 56 ve 66 serisi traktör modellerinin toplam günlük miktarının 5' in katı şeklinde olup olmadığını kontrol et.

Adım5.3: Eğer ponte ve motor çeşitlerinin herhangi birinde stoklar yeterli değil ise veya bu parçaların tedarik edilmesinde bir sorun var ise bu parçalara sahip traktör modellerinin dağıtımını bu bilgiye göre gerçekleştir.

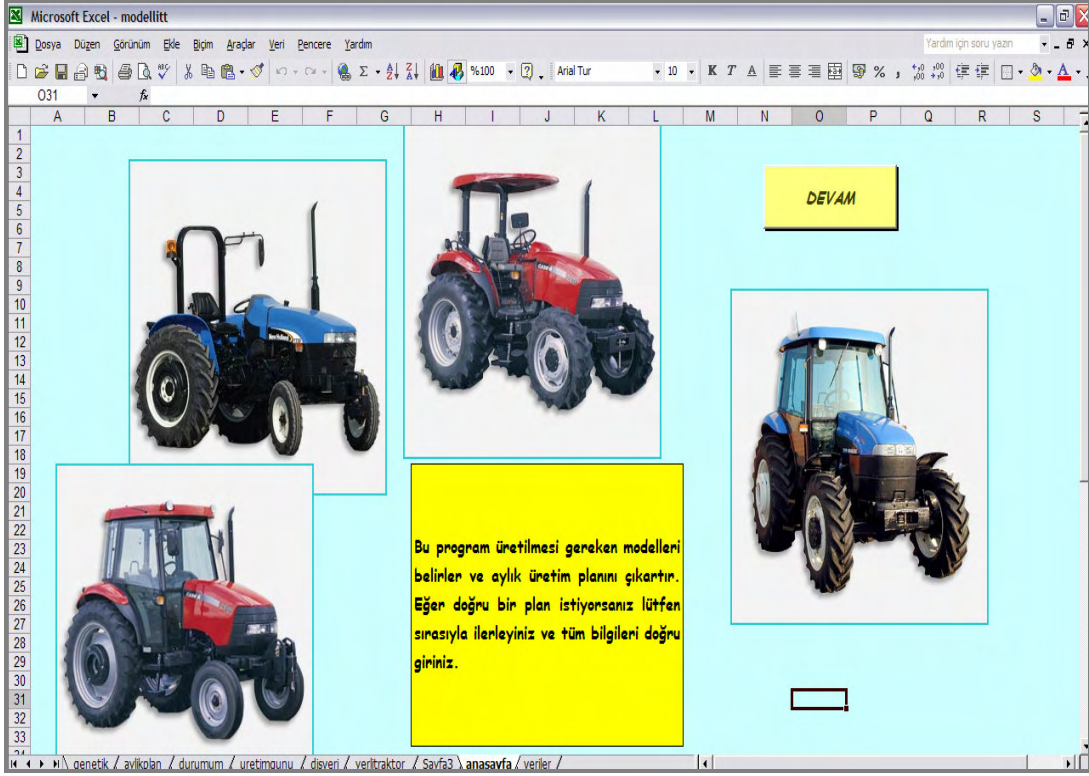
Adım 6: DUR

### **3.2 Mevcut Uygulamaya Yönelik Bir KDS Tasarımı Ve Geliştirilmesi**

Mevcut uygulamaya yönelik KDS Microsoft Excel ve VBA(Visual Basic for Application) ortamında geliştirilmiştir. Karar vericinin programı aktif halde kullanması, sürekli tekrar edilen işlemlerin otomatik hale getirilmesi ve karar vericiye kolaylık sağlaması amacıyla Microsoft Excel ve VBA(Visual Basic for Application) seçilmiştir. Microsoft Excel, tablolama tabanlı arayüz özelliği, kendi içinde bulunan veya kullanıcı tanımlı fonksiyon ve formülleri, grafiksel özellikleri, veri tabanı kolaylıkları, veri analiz özellikleri, makro kaydı ve VBA(Visual Basic for Application) programlama desteği ile KDS'nin uygulaması için hızlı uygulama ve geliştirme aracıdır (Korkmaz, [19]).

Tasarlanan sistem; karar vericinin sahip olduğu bilgi ve deneyimleri kullanabileceği, karar vericiye kolaylık sağlayacak, senaryo analizini destekleyecek ve ona seçenekler sunan gerçek hayatta kullanılabilir, gerçek bir karar destek aracı olması dolayısıyla çevik üretim felsefesinin amacını doğrudan desteklemektedir.

Problem için geliştirilen KDS'nde ilk olarak aylık üretilmesi gereken traktör modelleri ve bu traktör modellerinin miktarları belirlenmektedir. Bu işlem ise karar vericinin üretim miktarları hakkında verdiği bilgiler ile gerçekleştirilmektedir. Üretim planı bu aşamadan sonra gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.1 KDS'nin Ana Sayfası

Şekil 3.1'de KDS'nin ana sayfası gösterilmektedir. Bu sayfada gerekli açıklamalar yer almaktadır. Bu arayüz karar vericiyi üretim planını gerçekleştirmek üzere ilgili sayfaya yönlendirmektedir.



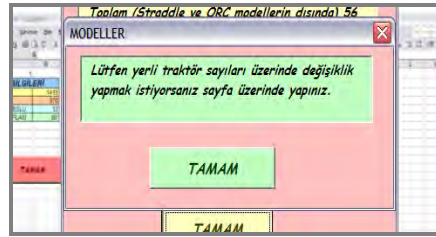
Bu arayüz karar vericinin Şekil 3.4'de gösterildiği gibi üretim bilgilerini girmesini sağlamaktadır. Karar verici burada üretim planının gerçekleştirileceği aya ait toplam yerli ve yabancı traktör miktarlarını girmektedir. Ayrıca günlük üretilmesi gereken toplam traktör miktarını ve ropslu traktör miktarını da girmektedir. Sistem bu bilgileri kullanarak veri tabanından talep tarihlerini de göz önünde bulundurarak üretilmesi gereken traktör modellerini ve miktarlarını belirlemektedir.

Şekil 3.4 KDS'nin Traktör Miktarlarının Belirlendiği Kullanıcı Formu

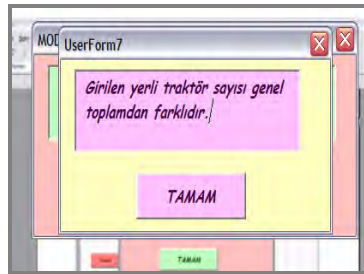
Şekil 3.5 KDS'nde Üretim Miktarlarına İlişkin Bilgilerin Verildiği Kullanıcı Formu



Karar verici üretim bilgilerini belirledikten sonra sistem o ay için üretilmesi gereken yerli traktörleri belirlemektedir. Ayrıca toplam yerli traktör üretim miktarının 5'in katı olabilmesi için gerekli uyarılarda bulunmaktadır (Şekil 3.5). Yani eğer o ay için toplam miktar 5'in katı değil ise bunu belirtmekte ve toplam miktarın 5'in katı olabilmesi için iki ayrı seçenek sunmaktadır. Bunlardan birincisi karar verici bu değişikliği kendisi yapabilmektedir. Üretilcek yerli traktörlerin miktarlarında kendi tercihlerine dayalı olarak değişiklik yapabilmekte ve toplam miktarın 5'in katı olmasını sağlayabilmektedir. İkinci seçenekte ise karar verici bu değişikliği sistemin kendisinin yapmasını isteyebilmektedir. Yani sistem toplam miktarın 5'in katı olmasını sağlayacak şekilde bir sonraki aydan bu aya üretilcek traktörleri talep tarihi sırasına göre aktarmaktadır. Bunun dışında eğer toplam miktar 5'in katı ise bu durumda karar verici yine üretilcek traktör sayısında değişiklik yapabilmektedir. Yani karar vericinin özel bir isteği veya belirli bir model için bir tercihi var ise bu bilgiyi de üretime yansıtılabilmektedir. Ancak yine toplam miktarın 5'in katı olmasını sağlamak zorundadır. Bu bilgiler verildikten sonra karar verici eğer değişiklik yapmak istiyorsa değişikliklerin sayfa üzerinde yapılması gerektiğini aktaran bir uyarı gelmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 KDS'nde Karar Vericiye Bilgilerin Verildiği Kullanıcı Formu



Şekil 3.7 KDS'nde Karar Vericiye Uyarıların Verildiği Kullanıcı Form

Şekil 3.7’de ise karar vericinin üretim bilgilerini girdiği aşamadaki yerli traktör sayısı ile o aydaki veri tabanında bulunan toplam yerli traktör sayısının birbiri ile uymadığını söyleyen bir uyarı ekrana gelmektedir. Tüm bu işlemlerden sonra Şekil 3.8’de o ay için üretilecek yerli traktör modelleri ve miktarları, bunun yanında karar vericinin üretim bilgileri olarak girdiği miktarlar gösterilmektedir. Karar verici yukarıda anlatılan değişiklikleri bu arayüzde gerçekleştirmektedir.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33				
MOP BİLGİLERİ				MODEL	MIKTAR																															
YERLİ	1415			55-56 13*28H08K S552CB	10																															
YABANCI	370			55-56 13-28H08G S552RB	80																															
GÜNLÜK ROBSLU	12			65-56 11-36H08G S652RB	5																															
GÜNLÜK TOPLAM	80			65-56 13-30H08G S652RB	60																															
				65-56 13-30H08K S652CB	5																															
				65-56 14-30H08G S652RB	45																															
				65-56 14-30H08K S652CB	40																															
				75-56 12-36H08G S752RB	2																															
				75-56 14-30H08G S752RB	25																															
				75-56 14-30H08K S752CB	10																															
				T50A2W1228 T1S2RB (T1)	350																															
				T55A122W1328 T2S2RB (T5)	3																															
				T55A2W1228 T2S2RB (T8)	50																															
				T55A2W1328 T2S2RB (T7)	80																															
				T55A4W14.9R28T2S7RA (T16)	60																															
				T55B2W1128 T2L2RB (T2)	5																															
				T55B2W1228 T2L2RB (T3)	45																															
				T55B2W380R24 T2L2RB (T36)	45																															
				T55E4W380R24 T2S7RA (T40)	50																															
				T55E4W380R28 T2S7RA (T17)	25																															
				T55N2W1228 T2N2RB (T23)	2																															
				T60B2W1228 T3L2RB (T12)	10																															
				T65A2W1328 T4S2RB(T28)	10																															
				T65A2W16.9R28 T4S2RB(T33)	5																															
				T65A4W14.9R28T4S7RA (T21)	20																															
				T65B2W380R28 T4L2RB(T15)	20																															
				T65C2W16.9R28 T4S2CB (T34)	5																															
				T65C4W149R28 T4S7CA (T35)	5																															
				TD65D2W1136P D2S2AC SC44T	5																															
				TD65D2W1330KK D2C2AC SC3T	10																															
				TD65D2W1330P D2S2AC SC1T	40																															
				TD65D2W1430KK D2C2AC SC104T	5																															

Şekil 3.8 KDS’nde Yerli Traktörlerin Üretim Bilgilerinin Gösterildiği Sayfa

	A	B	C	D	E	F	G
1						<b>MODEL</b>	<b>MIKTAR</b>
2		<b>MOP BİLGİLERİ</b>				55-56 13*28H08K S552CB	10
3		YERLİ	1415			55-56 13-28H08G S552RB	80
4		YABANCI	370			65-56 11-36H08G S652RB	5
5		GÜNLÜK ROBSLU	12			65-56 13-30H08G S652RB	60
6		GÜNLÜK TOPLAM	85			65-56 13-30H08K S652CB	5
7						65-56 14-30H08G S652RB	45
8						65-56 14-30H08K S652CB	40
9						75-56 12-36H08G S752RB	2
10						75-56 14-30H08G S752RB	25
11						75-56 14-30H08K S752CB	40
12		<b>TAMAM</b>				T50A2W MESAJ	
13						T55A12Z	
14						T55A2W	
15						T55A2W	
16						T55A4W	
17						T55B2W	
18						T55B2W	
19						T55B2W	
20						T55E4W	
21						T55E4W	
22						T55N2W1228 T2N2RB (T23)	2
23						T60B2W1228 T3L2RB (T12)	10
24						T65A2W1328 T4S2RB(T28)	10
25						T65A2W16.9R28 T4S2RB(T33)	5
26						T65A4W14.9R28T4S7RA (T21)	20
27						T65B2W380R28 T4L2RB(T15)	20
28						T65C2W16.9R28 T4S2CB (T34)	5
29						T65C4W149R28 T4S7CA (T35)	5
30						TD65D2W1136P D2S2AC SC44T	5
31						TD65D2W1130KK D2C2AC SC3T	10
32						TD65D2W11330P D2S2AC SC1T	40
33						TD65D2W1430KK D2C2AC SC104T	5

Şekil 3.9 KDS'nde Üretim Miktarlarına İlişkin Bilgilerin Verildiği Kullanıcı Formu

Karar verici tüm bilgileri sisteme aktardıktan sonra ilgili işleme devam etmek istediğinde eğer belirlediği miktarlar üretim bilgileri ile uymuyorsa sistem bu bilgilerin aynı olmadığı konusunda karar vericiyi uyararak ve tekrar değişiklikleri yapması için beklemektedir (Şekil 3.9). Bu aşamadan sonra üretilecek yerli traktörler ve miktarları belirlenmiş durumda olacaktır. Artık sistem girilen üretim bilgilerine göre üretilmesi gereken yabancı traktörleri belirleyecektir. Yabancı traktörler belirlenirken dikkate alınacak ilk ölçüt traktör modellerinin talep tarihleridir. Daha sonra günlük üretilmesi gereken ropslu traktör sayısı dikkate alınmaktadır. Kabinli traktör sayısı ise toplam ropslu traktör sayısına göre belirlenmektedir. Yani o ayda toplam ropslu traktör sayısı kadar model yok ise bu durumda bir sonraki aydan bu aya ropslu traktör aktarılabilmektedir. Aynı işlem kabinli traktörler için de uygulanmaktadır. İlk olarak bu sayılara göre üretilecek traktörler belirlenmektedir. Ancak eğer bir sonraki ayda da yeteri kadar kabinli veya ropslu traktör mevcut değil ise bu durumda sistem karar vericiyi uyarmaktadır ve bu Şekil 3.10'da gösterilmektedir.

MOP BİLGİLERİ		MODEL	MIKTAR
YERLİ	1415	55-56 13-28H08K S552CB	11
YABANCI	370	55-56 13-28H08G S552RB	80
GÜNLÜK ROBSLU	30	65-56 11-36H08G S652RB	5
GÜNLÜK TOPLAM	85	65-56 13-30H08G S652RB	60
		65-56 13-30H08K S652CB	5
		65-56 14-30H08G S652RB	45
		65-56 14-30H08K S652CB	40
		75-56 12-36H08G S752RB	2
		75-56 14-30H08G S752RB	25
		75-56 14-30H08K S752CB	10
		T50A2W1228 T1S2RB (T1)	350
		T55A122W1328 T2S2RB (T5)	3
		T55A2W1228 T2S2RB (T8)	50
		T55A2W1328	10
		T55A4W14.9R	10
		T55B2W1128	5
		T55B2W1228	5
		T55B2W380R	5
		T55E4W380R	0
		T55E4W380R	5
		T55N2W1228 T2N2RB (T23)	2
		T60B2W1228 T3L2RB (T12)	10
		T65A2W1328 T4S2RB(T28)	10
		T65A2W16.9R28 T4S2RB(T33)	5
		T65A4W14.9R28T4S7RA (T21)	20
		T65B2W380R28 T4L2RB(T15)	20
		T65C2W16.9R28 T4S2CB (T34)	5
		T65C4W149R28 T4S7CA (T35)	5
		TD65D2W1136P D2S2AC SC44T	5
		TD65D2W1330KK D2C2AC SC3T	10
		TD65D2W1330P D2S2AC SC1T	40
		TD65D2W1430KK D2C2AC SC104T	5

Şekil 3.10 KDS'nde Üretim Miktarları Hakkında Bilginin Verildiği Uyarı Bölümü

Tüm bu işlemler yapıldıktan yani üretilecek yerli, yabancı traktörler ve miktarları belirlendikten sonra Şekil 3.11'de gösterilen arayüze sistem karar vericiyi yönlendirmektedir. Bu arayüz karar vericinin bazı özel durumlar için bilgilerini aktardığı ve bu bilgilere göre üretim planının gerçekleştirilmesine karar verdiği bir arayüzdür. Bazı aylarda traktörlerin belirli ponte ve motor çeşitlerinde parça sıkıntısı yaşanmaktadır. Yani parçalar o ay için üretimin yapılacağı tarihlerde bulunmamakta ve ayın sonlarına doğru üretimlerinin kaydırılması gibi bir durum ortaya çıkabilmektedir. Bu durumda karar verici bu bilgilerini kullanarak o ponte ve motor çeşidine sahip traktörlerin üretimini belirlediği miktarda ayın son günlerine aktarma kararını verebilmektedir. Karar verici eğer ponte çeşitlerinde veya motor çeşitlerinde böyle bir karar vermek istiyorsa ilk olarak belirlenen hücreye "1" yazmakta ve bulunan çeşitlerden hangisi üzerinde karar vermek istiyorsa o çeşide ilişkin hücrenin sol kısmına "1" yazmaktadır. Daha sonra ayın son kaç gününe aktarma yapmak istiyorsa bu bilgiyi de gerekli hücreye yazmaktadır. Karar verici birden fazla çeşitte bu işlemi yapabilmektedir. Buna ilişkin arayüz ise Şekil 3.11'de verilmektedir.

1 YETERSİZ		ÇEŞİT	DEVAM		Toplam EA	Toplam Straddle	Tabl
PONTE	1	47136559	5		1072	42	
		5098083					
		5098084					
	1	5098085	7				
	1	5098086	4				
		5098087					
		5098603					
		5135093					
	1	5142227 / 87306830	5				
		5142320 / 87307619					
	1	5162477	5				
		5162478					
		5163495 / 87307620					
		5163509 / 87307622					
		5163510 / 87307623					
		5163511 / 87307624					
		5163519 / 87307627					
		5166593 / 87335645					
		5181576 / 87307621					
		5192643					
		87306830					
		87307620					

Eğer herhangi bir ponte geçişinde son günlere aktarma isteginiz varsa B3 hüresine 1 yazınız ve bunun yanında hangi geçitte aktarma isteginiz varsa C sütunundaki hürelere 1 yazıp E sütunundaki hürelere son kaç güne aktarmak istediğinizi yazınız.

1 YETERSİZ		ÇEŞİT
MOTOR	1	55 6
	1	65 5
		75
	1	80 4
		85
		95

Eğer herhangi bir motor geçi aktarma isteginiz varsa H16 hüce bunun yanında hangi geçitte aktarım istediğinizi yazıp K sı son kaç güne aktarmak istediğinizi

Şekil 3.11 KDS'nde Karar Vericinin Bilgilerini Aktardığı Sayfa

Karar verici tüm bilgileri sisteme aktardıktan sonra ilgili arayüze yönlendirildiğinde traktör modellerinin, miktarlarının ve özelliklerinin bulunduğu sayfa gösterilmektedir. Bu arayüz üretim planının tüm kısıtlara göre dağıtımının gerçekleştirildiği ve gerekli hürelere verilerin aktarıldığı bir arayüzdür (Şekil 3.12).

1	ÜRÜN CİNSİ	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
2		PONTE			AY PROGRAM	ORC/STR	KALAN	TT/TD/JX	AP/LP/N	2/4Ç	C/R/GC	EY	MOTOR	3	4	5	6	7
2	55-56 13-28H08K S652CB				11			55-56			2 C	Yerli	Y65					
3	55-56 13-28H08G S652RB				30			55-56			2 R	Yerli	Y55					
4	65-56 11-38H08G S652RB				5			65-56			2 R	Yerli	Y65					
5	65-56 13-30H08G S652RB				60			65-56			2 R	Yerli	Y65					
6	65-56 13-30H08K S652CB				5			65-56			2 C	Yerli	Y65					
7	65-56 14-30H08G S652RB				45			65-56			2 R	Yerli	Y65					
8	65-56 14-30H08K S652CB				40			65-56			2 C	Yerli	Y65					
9	75-56 12-36H08G S752RB				2			75-56			2 R	Yerli	Y75					
10	75-56 14-30H08G S752RB				25			75-56			2 R	Yerli	Y75					
11	75-56 14-30H08K S752CB				10			75-56			2 C	Yerli	Y75					
12	T50A2W1228 T1S2RB (T1)				350			TT	AP		2 R	Yerli	Y50					
13	T56A122W1328 T2S2RB (T5)				3			TT	AP		2 R	Yerli	Y55					
14	T56A2W1228 T2S2RB (T8)				50			TT	AP		2 R	Yerli	Y55					
15	T56A2W1328 T2S2RB (T7)				80			TT	AP		2 R	Yerli	Y55					
16	T56A4W14 9R28T2S7RA (T16)			47136559	60			TT	AP		4 R	Yerli	Y55					
17	T56B2W1128 T2L2RB (T2)				5			TT	LP		2 R	Yerli	Y55					
18	T56B2W1228 T2L2RB (T3)				45			TT	LP		2 R	Yerli	Y55					
19	T56B2W380R24 T2L2RB (T36)				45			TT	LP		2 R	Yerli	Y55					
20	T56E4W380R24 T2S7RA (T40)			47136559	50			TT	AP		4 R	Yerli	Y55					
21	T56E4W380R28 T2S7RA (T17)			47136559	25			TT	AP		4 R	Yerli	Y55					
22	T56N2W1228 T2H2RB (T23)				2			TT	Narrow		2 R	Yerli	Y55					
23	T60B2W1228 T3L2RB (T12)				10			TT	LP		2 R	Yerli	Y60					
24	T65A2W1328 T4S2RB(T28)				10			TT	AP		2 R	Yerli	Y65					
25	T65A2W16 9R28 T4S2RB(T33)				5			TT	AP		2 R	Yerli	Y65					
26	T65A4W14 9R28T4S7RA (T21)			47136559	20			TT	AP		4 R	Yerli	Y65					
27	T65B2W380R28 T4L2RB(T15)				20			TT	LP		2 R	Yerli	Y65					
28	T65C2W16 9R28 T4S2CB (T34)				5			TT	AP		2 C	Yerli	Y65					
29	T65C4W14 9R28 T4S7CA (T35)			47136559	5			TT	AP		4 C	Yerli	Y65					
30	TDORCH65380/70R28			5162478	20			TD	ORC		4 C	Yerli	Y65					
31	J95E4A0S7AA23270	5163495 / 87307620			1			JX	Strad		4 R	EY	Y95					
32	J95E4A0S7AA23269	5163495 / 87307620			1			JX	Strad		4 R	EY	Y95					
33	J95E4A0S7AA23268	5163495 / 87307620			1			JX	Strad		4 R	EY	Y95					

Şekil 3.12 KDS'nde Aylık Planın Sonuçlarını Gösterildiği Sayfa

Geliştirilen KDS, belirlenen kısıtlara ve özelliklere göre üretim planını gerçekleştirmenin yanında belirlenen ay için üretilmesi gereken traktör modellerini de belirlemektedir. İzleyen bölümde üretim planının gerçekleştirilmesinde kullanılabilecek, probleme özgü geliştirilen yaklaşımlar anlatılmaktadır.

## 4. KİTLESEL ÖZEL ÜRETİME YÖNELİK HEDEF PROGRAMLAMA TABANLI ÜRETİM PLANLAMA YAKLAŞIMI

Kitlesel özel üretimin hayata geçirilmesi bir dizi üretim hedefini ve bunların üretim plan ve programlarına yansıtılmasını gerektirmektedir. Söz konusu hedeflerin planlama operatörleri tarafından üretim plan ve programlarına yansıtılması sadece bir kaç hedef için olanaklıdır ve bununla yetinilmesi kitlesel özel üretimden sınırlı bir faydanın sağlanması anlamına gelmektedir. Bu bölümde kitlesel özel üretime yönelik bir hedef programlama modeli önerilmekte ve geliştirilmektedir.

### 4.1 Problem İçin Geliştirilen Matematiksel Model

Problem için oluşturulan matematiksel model, traktör modellerinin hangi gün, ne miktarda üretileceğini belirlemek amacı ile geliştirilmiştir. Yani bu matematiksel modelin çözümü sonucunda aylık üretim planı elde edilmektedir. Matematiksel modelin kısıtları traktör üretimi yapan firmada üretim takip bölümünden alınan bilgiler doğrultusunda oluşturulmuştur. Matematiksel modelin amaç fonksiyonu ise günler bazında üretilen traktör modellerinin üretim miktarları arasında değişimin en küçüklenmesidir. Buradaki amaç üretimi günler bazında düzgünleştirmek, model değişimlerinin üretimdeki olumsuz etkilerini en aza indirmektir. Problem için geliştirilen karar modeline ilişkin varsayımlar, tanımlar, gösterimler, parametreler ve karar değişkenleri aşağıdaki gibidir:

Problemin Varsayımları:

- Traktörlerin üretimi için gerekli parçalar üretim hattında ihtiyaç duyulduğu tüm zamanlarda hazır bulunmaktadır.
- Her işçi tüm traktör modellerinin üretimini gerçekleştirebilecek yeteneğe sahiptir.
- Hazırlık zamanları üretimi aksatacak şekilde zaman almadığı için ihmal edilmektedir.
- Üretimde gerekli durumlarda fazla mesai yapılmaktadır.

- Bir traktör modelinin bir adet üretimi ile birden fazla üretimi arasında üretim hızı bakımından bir fark bulunmamaktadır.

#### Notasyonlar:

- i: Aylık planda model çeşidi indisi  $i=1, \dots, M$   
j: Aylık planda çalışma günü indisi  $j=1, \dots, G$   
k: 56 ve 66 serisi traktör çeşidi indisi  $K_i = \{1, 2\}$   
l: kabinli veya roplu traktör çeşidi indisi  $L_i = \{1, 2\}$   
m: traktörün motor çeşidi indisi  $MT_i = \{1, \dots, 6\}$   
n: traktörün ponte çeşidi indisi  $N_i = \{1, \dots, 28\}$   
G: Aylık planda toplam çalışılacak gün sayısı  
M: Aylık planda toplam model sayısı

Aylık planda toplam çalışılacak gün sayısı çoğunlukla 21 veya 22 gün olmaktadır. Bu sayı eğer o ay içerisinde özel bir durum var ise değişebilmektedir. Bunun yanında aylık planda toplam model sayısı üretilecek aylık toplam traktör sayısına, üretilecek 66 serisi roplu traktör sayısına ve üretilecek yabancı traktör sayısına göre değişebilmektedir.

#### Parametreler:

- $R_j$  : Aylık planda j. günde üretilecek 66 serisi roplu traktör sayısı  
 $EA_j$  : Aylık planda j. günde üretilecek 56 serisi traktör sayısı  
 $AA_j$  : Aylık planda j. günde üretilecek 66 serisi traktör sayısı  
 $T_i$  : Aylık planda i. modelden üretilecek aylık toplam miktar

#### Karar Değişkenleri:

- $x_{ijklmn}$  : i. modelden j. günde k. traktör serisinden l. özellikte m motor ve n ponte özelliğinde üretilecek traktör sayısı

Karar Modeli:

$$\sum_{i=1}^M x_{ijklmn} = R_j, \quad l = 2, k = 2, m \in MT_i, n \in N_i \text{ ve } \forall j \text{ için} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^M x_{ijklmn} = EA_j, \quad k = 1, l \in L_i, m \in MT_i, n \in N_i \text{ ve } \forall j \text{ için} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^M x_{ijklmn} = AA_j, \quad k = 2, l \in L_i, m \in MT_i, n \in N_i \text{ ve } \forall j \text{ için} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^G x_{ijklmn} = T_i, \quad k \in K_i, l \in L_i, m \in MT_i, n \in N_i \text{ ve } \forall i \text{ için} \quad (4)$$

$$x_{ijklmn} \geq 0 \text{ ve tamsayı, } \forall i, \forall j, k \in K_i, l \in L_i, m \in MT_i, n \in N_i \text{ için} \quad (5)$$

kısıtları altında

$$\text{Enk } Z = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^G (x_{i,j+1,klmn} - x_{ijklmn})$$

Yukarıdaki karar modelinde (1) numaralı kısıt günlük 66 serisi roplu traktörlerin belirli bir miktarı geçmemesini sağlamaktadır. Her gün için 66 serisi roplu traktörlerin toplam üretim miktarı belirli bir sayıda gerçekleşmektedir. (2) numaralı kısıt yine her gün için 56 serisi toplam traktör miktarının belirli bir sayıda gerçekleşmesini sağlamaktadır. Aynı şekilde (3) numaralı kısıt her gün için 66 serisi toplam traktör miktarının belirli bir sayıda gerçekleşmesini sağlamaktadır. (4) numaralı kısıt her bir modelin önceden belirlenen miktarda üretilmesini sağlayan kısıttır. Modelin üretim miktarı, ay içerisindeki günlerde toplam üretim miktarına eşit olmalıdır. Son olarak (5) numaralı kısıt traktör modellerinin günlük üretim miktarlarının sıfırdan büyük ve tamsayı olmasını sağlamaktadır. Modelin amaç fonksiyonu ise traktör modelleri için günler arasındaki toplam değişimin en küçüklenmesini gerçekleştirmektedir. Yani ardışık günlerdeki üretim miktarları farkının toplam değerinin en küçüklenmesidir.

Bu modelde tüm kısıtlar eşitlik halinde olup, hedeflerden sapmalara asla izin vermezler. Böyle kısıtlara bundan sonra kırılgan (hard) kısıtlar denecektir.



## 4.2 Problem için Geliştirilen Hedef Programlama Modeli

Problem için geliştirilen hedef programlama modelinde matematiksel modelde kullanılan notasyonlar ve parametreler kullanılmıştır. Hedef programlama modelinin karar değişkenleri ve hedef programlama modeli ise aşağıda verilmektedir.

Karar Değişkenleri:

$x_{ijklmn}$  : i. modelden j. günde k. serisinden l. özellikte m motor çeşidi ve n ponte çeşidinde üretilecek traktör sayısı

$S_s$  : Traktör modelinin günlük üretim miktarları arasındaki sapma miktarı

Hedef Programlama Modeli:

$$S_s^e - S_s^a = \sum_{i=1}^M x_{ijklmn} - R_j, \quad l=2, k=2, m \in MT_i, n \in N_i \text{ ve } \forall j \text{ için}$$

$$S_s^e - S_s^a = \sum_{i=1}^M x_{ijklmn} - EA_j, \quad k=1, l \in L_i, m \in MT_i, n \in N_i \text{ ve } \forall j \text{ için}$$

$$S_s^e - S_s^a = \sum_{i=1}^M x_{ijklmn} - AA_j, \quad k=2, l \in L_i, m \in MT_i, n \in N_i \text{ ve } \forall j \text{ için}$$

$$S_s^e - S_s^a = \sum_{j=1}^G x_{ijklmn} - T_i, \quad \forall i, k \in K_i, l \in L_i, m \in MT_i \text{ ve } n \in N_i \text{ için}$$

$$S_s^e - S_s^a = x_{i,j+1,klmn} - x_{ijklmn}, \quad \forall i, \forall j, k \in K_i, l \in L_i, m \in MT_i \text{ ve } n \in N_i \text{ için}$$

$x_{ijklmn} \geq 0$  ve tamsayı,  $\forall i, \forall j, k \in K_i, l \in L_i, m \in MT_i, n \in N_i$  için

kısıtları altında

$$\text{Enk } Z = \sum_{s=1}^S (S_s^e + S_s^a)$$

Karar verici eğer herhangi bir ponte veya motor parçalarının bir çeşidinde son günlere aktarma gibi bir tercihte bulunursa bu durumda hedef programlama modeli aşağıdaki gibi olmaktadır:

A: Herhangi bir ponte veya motor çeşidinde stok kısıtı var ise son günlere aktarmada gün sayısı

Hedef Programlama Modeli:

$$S_s^e - S_s^a = \sum_{i=1}^M x_{ijklmn} - R_j, \quad l=2, k=2, m \in MT_i, n \in N_i \text{ ve } \forall j \text{ için}$$

$$S_s^e - S_s^a = \sum_{i=1}^M x_{ijklmn} - EA_j, \quad k=1, l \in L_i, m \in MT_i, n \in N_i \text{ ve } \forall j \text{ için}$$

$$S_s^e - S_s^a = \sum_{i=1}^M x_{ijklmn} - AA_j, \quad k=2, l \in L_i, m \in MT_i, n \in N_i \text{ ve } \forall j \text{ için}$$

$$S_s^e - S_s^a = \sum_{j=1}^G x_{ijklmn} - T_i, \quad \forall i, k \in K_i, l \in L_i, m \in MT_i \text{ ve } n \in N_i \text{ için}$$

$$S_s^e - S_s^a = x_{i,j+1,klmn} - x_{ijklmn}, \quad \forall i, \forall j, k \in K_i, l \in L_i, m \in MT_i \text{ ve } n \in N_i \text{ için}$$

$$x_{ijklmn} \geq 0 \text{ ve tamsayı}, \quad \forall i, \forall j, k \in K_i, l \in L_i, m \in MT_i, n \in N_i \text{ için}$$

kısıtları altında

$$\text{Enk } Z = \sum_{s=1}^S (S_s^e + S_s^a) + d * \sum_{j=1}^{G-A} x_{ijklmn}$$

### 4.3 Modelin Çözümünde Karşılaşılan Sorunlar

Geliştirilen karar modeli temelde traktörlerin günlük üretim miktarlarının belirlenmesine yönelik olduğundan tamsayı olmayan değişken değerleri için anlamlı olmamaktadır. Dal-Sınır algoritması tabanlı çözücü yazılımlarda problemin çözüm süresi kabul edilebilir sürelerin dışına kolayca çıkabilmektedir. Bu durumda karar vericinin farklı üretim planları oluşturup aralarında belli ölçütlere göre seçim yapma, kısa sürede bu çözümleri üretime yansıtabilme şansı kalmamaktadır. Belirtilen gerekçeler doğrultusunda burada çözüm kalitesi (en iyi veya en iyiye yakınlık) ile çözüm süresini dengeleyecek yaklaşımlar üzerinde durulmaktadır. Bu yaklaşımlar en iyi çözümü garanti eden yaklaşımlar değildir ancak en iyi çözüme yakın çözümleri kısa sürede elde edebilecek ve karar vericinin etkin bir şekilde kullanabileceği yaklaşımlardır. Bu aşamada iki yaklaşım üzerinde durulmuştur. İlki, bir yerel açgözlü arama olarak adlandıracağımız, tamsayı olmayan modelleri (LP relaxation) iteratif olarak hızlı bir şekilde çözecek ve tamsayı çözüme götürecektir bir dizi işlemde oluşan yaklaşımdır. Bu yaklaşımda, doğrusal model çözücü (Lingo

yazılımının 8.0 sürümü) bir üst (master) program tarafından (Excel VBA) bir alt program gibi kullanılarak çözümler elde edilmektedir. Diğeri ise tamsayılı olmayan modelin çözümlenmesi (Lingo yazılımının 8.0 sürümü ile) ve elde edilen değerlerin geliştirilen bir genetik algoritma (Excel VBA) yardımı ile tamsayılı değerlere yuvarlanması yaklaşımıdır. Her iki yaklaşımda da problemin özelliklerinin modelin çözümüne katkıda bulunması sağlanmaktadır.

## 5. GELİŞTİRİLEN HEDEF PROGRAMLAMA MODELİNİN ÇÖZÜMÜNE YÖNELİK ÖNERİLER

### 5.1 Yerel Açgözlü Arama (Y.A.A.) Yaklaşımı

Yerel arama, kombinatorial en iyileme problemleri için birçok sezgisel metodun temelini oluşturmaktadır. Yerel arama, iyi yaklaşık çözümlerin bulunmasında basit iteratif iyileştirme metodudur. Birçok durumda yerel arama keyfi bir çözüm ile başlar ve yerel en iyi çözüm ile sonlanır. Y.A.A. ise en iyi iyileştirmeyi sağlayan bir metottur ve mevcut çözümü tüm komşuların araştırılması sonucunda iyileştiren çözüm ile değiştirir [20].

Y.A.A., en eski, basit ve çok fazla kullanılan iteratif olarak iyileştirme sağlayan bir metottur. Bu metotta iyi bir çözüme ulaşıncaya kadar her iterasyonda iyi olası bir yönde ilerleme gerçekleştirilir. Açgözlü arama hızlı bir arama yöntemidir [21].

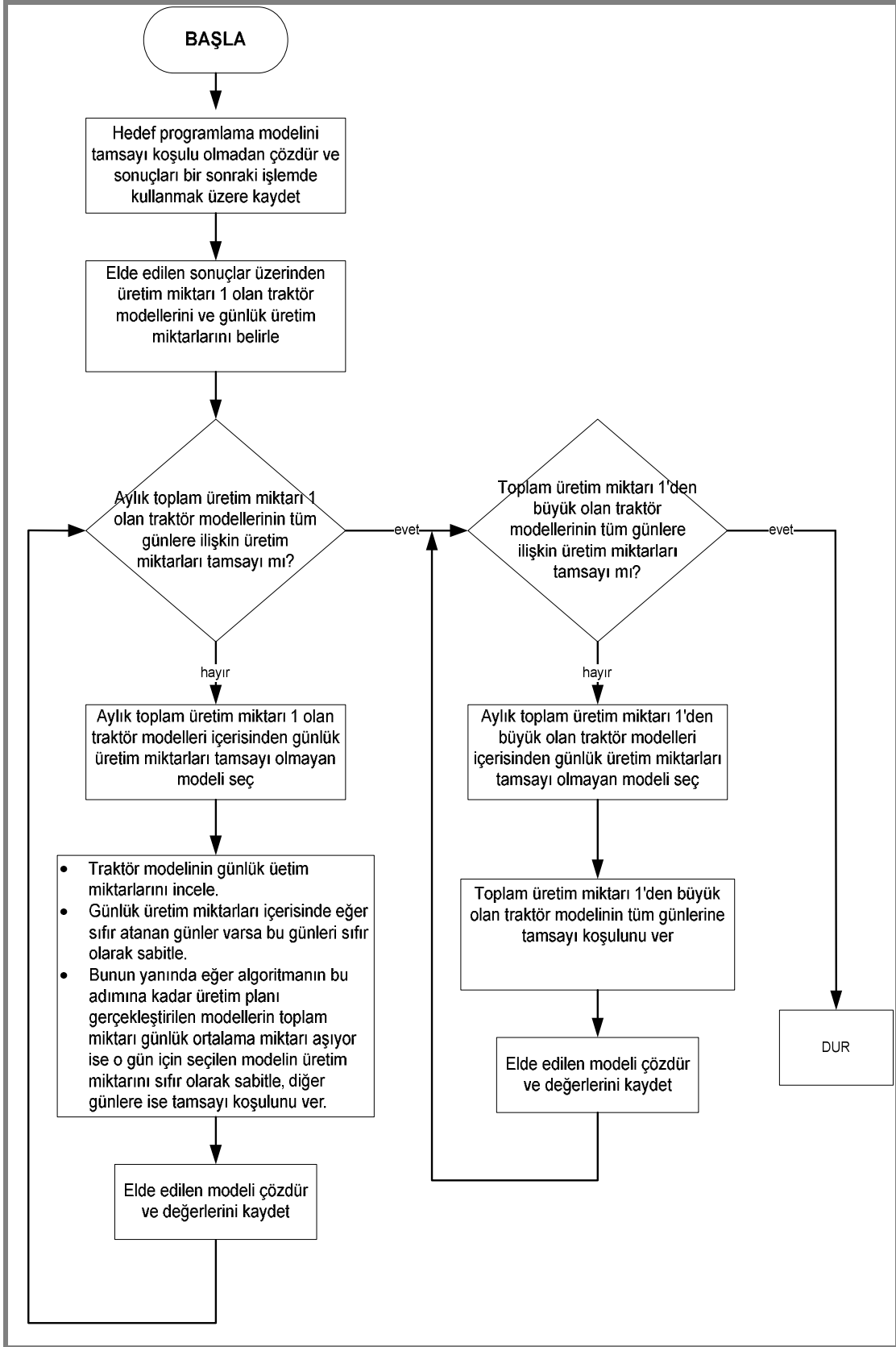
YAA, her bir çözüm noktasından keyfi olarak hareket etmek yerine, üzerinde bulunulan bir çözümden ilerleyerek olası tüm çözümler arasından en iyisini seçmeye çalışır. Buradaki risk ise, yerel bilgiye dayanarak yalnızca bir sonraki çözüme bakılmasıdır. YAA algoritmasında, herhangi bir başlangıç çözümü bitirme koşulu sağlanıncaya kadar adım adım iyileştirilmeye çalışılır. Bu metodun temelinde, tanımlanan bazı kurallara göre bir çözümden bir diğer komşu çözüme geçiş vardır [22].

Bu algoritmaların temel problemi, arama uzayında tüm komşu çözümlerin araştırılması aşamasında yerel bir noktaya yakalanma ve bu çözümden daha iyi bir çözüme ulaşamama durumunda algoritmanın sonlanmasıdır. Açgözlü algoritmalar olarak tepe tırmanma, kısıt ağırlıklandırma ve tabu arama sezgiselleri gösterilebilir. Yerel aramanın temel şekli, çözümün amaç fonksiyonu değerini en fazla iyileştiren değişikliğin seçimi üzerine odaklanmıştır. Bu metot ise tepe tırmanma metodu olarak adlandırılmaktadır. Tepe tırmanma algoritmasında başlangıçta rassal olarak bir çözüm elde edilir. Daha sonra en iyi iyileştirmeyi

sağlayan değişiklik yeni çözüm olarak kabul edilir. Bu işlemler iyileştirme elde edilemeyene kadar devam eder. Kısıt ağırlıklandırma yönteminde, yerel optimuma yakalanmamak amacı ile ihlal edilmiş kısıtların toplam ağırlıkları maliyetin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Algoritmanın işleyişi sırasında eğer olası bir çözüm elde edilemiyor ise bu durumda ağırlıklar değiştirilmekte ve yeni çözümler aranmaktadır. Tabu arama yönteminde ise yerel en iyiye yakalanma durumu yasak çözümlerin listesi olan tabu listesi ile aşılmaktadır. Algoritmada ancak yasak olmayan çözümler arasından en iyi çözüm seçilebilmektedir [22].

## 5.2 Önerilen Y.A.A. Yaklaşımı

Önerilen Y.A.A. yaklaşımında hedef programlamanın tamsayı koşulsuz çözdürülmesi sonucunda elde edilen sonuçlar kullanıldığından yerel arama söz konusudur. Bu yaklaşım hedef programlama modelinin tamsayı koşulsuz çözümünün elde edilmesinin ardından elde edilen sonucu değerlendirmektedir. Yani tamsayı olmayan değerlerin tamsayıya dönüştürülmesi aşamasında kullanılan bir yaklaşımdır. Bu aşamada ilk olarak hedef programlama modeli tamsayı koşulsuz çözdürülmekte, elde edilen sonuçlar incelenerek ve hedef programlama modeli güncellenerek çözüm elde edilmektedir. Bu işlem n deneme yapılarak çalıştırılmaktadır ve sonuçta tüm modellerin her güne ilişkin miktarları tamsayıya çevrilmektedir. Modelin çözümü Lingo 8.0 paket programı ile çözümlerin incelenerek yeni modellerin oluşturulması işlemi Ms Excel ile gerçekleştirilmektedir. Bu iki program birbiriyle etkileşimli olarak çalıştırılmaktadır. Önerilen Y.A.A. yaklaşımında iki farklı yöntem geliştirilmiştir. İzleyen bölümlerde geliştirilen ilk yöntem Y.A.A.1, ikinci yöntem ise Y.A.A.2 olarak adlandırılacaktır. Y.A.A.1 yöntemine ilişkin akış şeması Şekil 5.1'de gösterilmektedir.

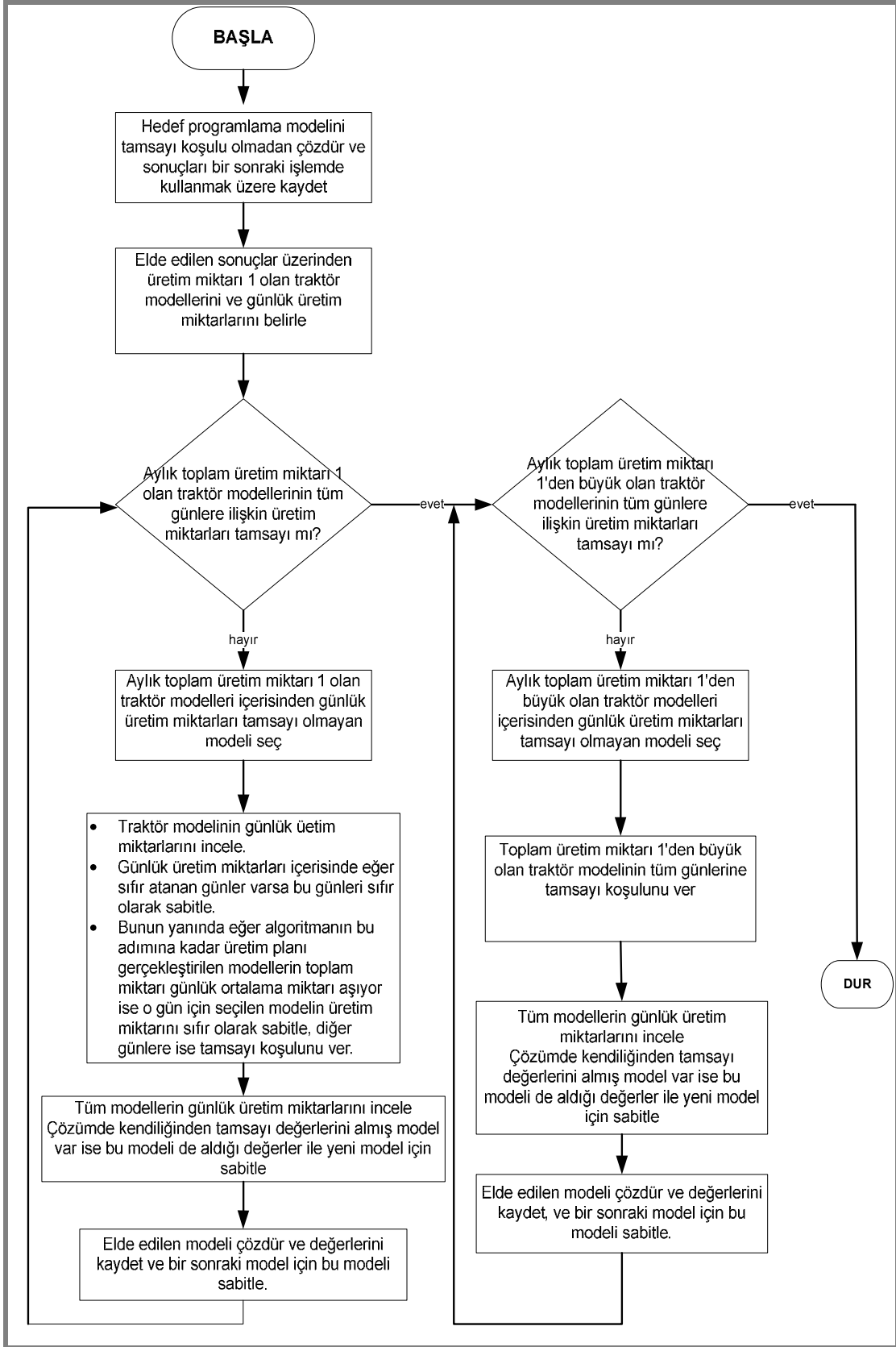


Şekil 5.1 Önerilen Y.A.A.1 Algoritması İş Akışı

Şekil 5.1’de verilen algoritma incelenecek olursa ilk olarak hedef programlama modeli tamsayı koşulsuz çözdürülmektedir. Elde edilen çözümde ilk olarak toplam üretim miktarı “1” olan traktör modelleri incelenmekte ve bunların üretimine öncelik verilmektedir. Buradaki amaç, farklı modellerin gün bazında toplam üretim miktarlarının homojen olarak dağıtılması ve üretimde meydana getireceği olumsuzlukların ortadan kaldırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda her bir aşamada, günler bazında üretimi gerçekleştiren modellerin toplam miktarı incelenmekte ve günlük ortalama miktarı aşan durumlarda o traktör modelinin üretimi o gün için sıfır olarak alınmaktadır. Bunun sonucunda üretimi “1” olan traktör modellerinin gün bazında toplam miktarlarının homojen dağılımı sağlanmaktadır.

Algoritmada toplam üretim miktarı “1” olan traktör modellerinin günlük üretim miktarları incelenmektedir. Eğer toplam üretim miktarı “1” olan traktör modellerinin içerisinde herhangi bir modelin üretim miktarı sıfır olarak atanmış ise bir sonraki modelde tamsayı koşulu verilerek üzere o model seçilmektedir. Seçilen modelin hangi günlerde üretim miktarları sıfır ise o günler sıfır olarak sabitlenmekte ve diğer günlere tamsayı koşulu verilerek model güncellenmektedir. Güncellenen model tekrar çözdürülüp sonuçlar kaydedilmektedir. Bir sonraki aşamada artık seçilen modelin tüm günlerine ait tamsayı değerler alınarak bu değerler sonraki iterasyonlarda sabit bir şekilde modele gönderilmektedir. Bu işlem toplam üretim miktarı “1” olan traktör modellerinin tüm günlere ilişkin üretim miktarları tamsayıya dönüştürülünceye kadar devam etmektedir. Daha sonra toplam üretim miktarı “1” ‘den büyük olan modeller incelenmekte ve bu modeller için yine aynı işlemler uygulanmaktadır. Sonuçta tüm modellerin tamsayıya dönüştürülmesi işlemi gerçekleşmektedir.

Y.A.A.2 yönteminde ise Y.A.A.1 yönteminde uygulanan işlemlere ek olarak tüm modeller için çözüm değerleri her iterasyonda incelenmekte ve eğer herhangi bir modelin o aşamada tüm günlere ilişkin üretim miktarları tamsayı değerini almış ise bu traktör modeli de sonraki iterasyonlar için sabitlenmektedir. Buna ilişkin algoritma ise Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Ayrıca algoritmaların iş akışlarına ek olarak oluşturulan akışlar Ek 2’de verilmektedir.



Şekil 5.2 Önerilen Y.A.A.2 Algoritması İş Akışı



### 5.3 Genetik Algoritma(GA)

GA, doğal seçim ve genetik bilimi mekanizmasına dayalı rassal bir arama prosedürüdür [23]. GA, Darwin'in "en iyi olan yaşar" prensibine dayalı olarak doğadaki canlıların gelişim sürecini örnek alır. GA'nın ilk aşamasında arama uzayındaki tüm mümkün çözümlerin bir alt kümesinden oluşan başlangıç yığını elde edilir. Yığının her elemanı bir dizi olarak kodlanır ve her bir dizi genetik biliminde kromozoma karşılık gelir. Yığındaki her bir dizinin ise bir uygunluk değeri vardır. GA, anne ve babadan oluşan çocuk bireylerin tüm şartlara uyum sağlayıp yaşamlarını devam ettirmelerine dayanmaktadır. Ancak anne ve babadan oluşan çocuk bireyler iyi genleri alabileceği gibi kötü genleri de almış olabilirler. Bu durumda kötü genlere sahip çocuk bireyler "en iyi olan yaşar" prensibine göre varlıklarını sürdüremeyecektir [24].

GA, ilk olarak John Holland ve arkadaşlarının liderliğindeki çalışmalar sonucu 1970'li yıllarda ortaya çıkmış ve 1975 yılında John Holland'ın "*Doğal ve Yapay Sistemlerde Adaptasyon (Adaption in Natural and Artificial Systems)*" adlı kitabında yayınlamıştır.

GA, geleneksel eniyileme yöntemleriyle çözümü zor veya imkansız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Başlangıçta sürekli doğrusal olmayan ve sürekli değişkenlere sahip en iyileme problemlerine uygulanan GA, sonraları gezgin satıcı, karesel atama, tesis yerleşimi, atölye çizelgeleme, ders/sınav programı hazırlanması, topoloji tasarımı gibi kombinatoryal en iyileme problemlerinde de başarıyla uygulanmıştır. Son yıllarda ise üretim planlama, finansman, tasarım ve elektronik gibi farklı alanların alt birimlerindeki çalışmalarda GA'nın kullanımı artmaktadır [24].

#### 5.3.1 GA'nın çalışma prensibi

GA'da bireylerin oluşturduğu bir yığın ile işleme başlanır. Her nesilde her bir birey için amaç fonksiyonunun değeri, onun uygunluğu olarak değerlendirilir ve

uygunluğu yüksek olan bireyler seşilerek yeni bir yığın elde edilir. Böylece, bireylerin uygunluğuna dayalı yeni çözümler oluşturulur. Yüksek uygunluk değerine sahip bireyler sıklıkla seşildiği için daha uygun olan bireylerin yığına katılması yönünde baskı vardır [24].

GA'da başlangıçta belirli bir sayıda diziyeye sahip yığın oluşturulur ve farklı seçim mekanizmalarından biri kullanılarak yığından farklı diziler (kromozom) seçilir. Daha sonra seçilen bu dizilere çaprazlama ve mutasyon belirli olasılıklar ile uygulanarak yeni çözümler elde edilir. GA'nın kullanılan seçim mekanizmaları, çaprazlama ve mutasyon operatörleri sayesinde yerel en iyiye yakalanma olasılığı çok azdır ve bu özelliği ile GA diğer algoritmalarından ayrılır.

Basit bir GA'nın işleyişı aşığıdaki gibidir:

Adım1: Çaprazlama olasılığı, yığın genişliği, mutasyon olasılığı, durdurma ölçütü gibi parametre değerlerini belirle.

Adım2: Başlangıç yığınındaki kromozomları (dizileri) rassal olarak oluştur ve bu yığını eski yığın olarak adlandır.

İterasyon =1 den Durdurma Ölçütüne kadar;

Adım3: Eski yığındaki her bir kromozomun uygunluk değerlerini hesapla.

Yığın genişliğine ulaşıncaya kadar Adım4 ve Adım5'i tekrarla.

Adım4: Belirlenen bir seçim stratejisini kullanarak eski yığından rassal olarak iki kromozom(anne ve baba bireyler) seş.

Adım5: Bu iki kromozoma çaprazlama ve mutasyon operatörlerini uygula. Bu işlemden sonra gerekli uygulamaları gerçekleştir ve oluşan çocuk bireyleri yeni yığına kopyala.

Adım6: Elde edilen yeni yığını eski yığın olarak değiştir.

Tekrarla

Adım7: Son yığındaki en iyi çözümlü göster.

Adım8: DUR

### **5.3.2 GA'nın temel kavramları**

GA'nın verimli bir şekilde çalışması ve iyi çözümlerin elde edilebilmesi için algoritmanın yapısında kullanılan kavramların ve bu kavramların değerlerinin çok iyi belirlenmesi gerekmektedir. Aşağıda bu kavramlara değinilmektedir:

#### **5.3.2.1 Gen**

Kromozom yapısındaki en küçük yapı birimine gen adı verilir. Genler kendi başlarına genetik bilgi taşırlar. Gen yapıları algoritmayı kullanan kişinin tanımlamasına bağılı olarak değışir.

#### **5.3.2.2 Kromozom**

Bir veya birden fazla gen yapılarının bir araya gelerek oluşturduğu dizilere kromozom adı verilir. Kromozom problemin çözümüne ait tüm bilgiyi içerir.

#### **5.3.2.3 Yığın (popülasyon)**

Yığın, çözüm bilgilerini içeren kromozomların bir araya gelmesi ile oluşur. Yığındaki her bir bireye kromozom, kromozomdaki her bir bilgiye ise gen adı verilir. Yığındaki kromozom sayısı problem için belirlenen sabit bir sayıya eşittir.

#### **5.3.2.4 Yeniden üretim işlemi**

Mevcut yığından gelecek yığına taşınacak olan dizilerin seçilmesi işlemidir. Taşınan diziler, genetik olarak mevcut yığında en uygun yapıya sahip dizilerdir. Bu işlem ile özel genetik yapıların bir sonraki yığına taşınması sağlanır [24].

### **5.3.2.5 Uygunluk değeri**

Uygunluk değeri, yeni yığına taşınacak dizilerin belirlenmesinde kullanılan bir araçtır. Algoritmanın her iterasyonunda yığındaki dizilerin uygunluk değeri (amaç fonksiyonu değeri) hesaplanır. Bir dizinin uygunluk değeri, problemin amaç fonksiyonu değerine eşittir. Bir dizinin gücü uygunluk değerine bağlı olup iyi bir dizi, problemin yapısına göre en büyükleme problemi ise yüksek, en küçükleme problemi ise düşük uygunluk değerine sahiptir [24].

### **5.3.3 GA'da dizi gösterimi ve gösterim biçimleri**

GA'yı diğer arama metotlarından ayıran en önemli özellik, parametrenin kendisi yerine parametreleri temsil eden dizileri kullanmasıdır. Bu nedenle herhangi bir probleme GA'nın uygulanmasındaki ilk adım, problem için arama uzayını en iyi şekilde temsil eden uygun bir kodlama yapısının seçilmesidir.

GA'da dizi gösterimi gerekli bilgiyi tutma ve çözümü dizi halinde sunma işlemidir. GA'da kullanılan temel gösterim biçimleri aşağıdaki gibidir [24]:

- 0-1 (ikili sayı) gösterimi: Bu gösterim biçimi GA'da temel gösterim biçimidir. Kromozomlar yalnızca 0 ve 1 sayılarından oluşacak şekilde kodlanırlar. 0-1 gösterimin kullanıldığı problem türlerine örnek olarak sırt çantası problemi (sermaye bütçeleme, kargo yükleme), küme kaplama problemi, grup teknolojisi problemleri, çok kısıtlı sırt çantası problemi, topoloji tasarımı problemleri gösterilebilir [24].
- Gerçek değerli gösterim: Bir probleme ilişkin parametreler sürekli olduğunda, parametreleri kesin bir doğrulukla ifade edebilmek ve kromozom uzunluklarının fazla olmasını engellemek açısından kullanımı uygun bir gösterim şeklidir. Gerçek değerli gösterimin kullanıldığı problem türlerine örnek olarak kısıtsız en iyileme, doğrusal olmayan programlama, stokastik en iyileme, doğrusal olmayan hedef programlama gibi problemler gösterilebilir [24].
- Permütasyon gösterim: Permütasyon gösterim, problemlerde listenin elemanlarının sıralanması veya doğru sırada ifade edilmesi gerektiği

durumlarda kullanılmaktadır. Permütasyon gösterimin kullanıldığı problem türlerine örnek olarak sırt çantası, atölye çizelgeleme, gezgin satıcı, tek/çok sıralı makine yerleşimi, kaynak kısıtlı proje çizelgeleme problemleri gösterilebilir [24].

#### 5.3.4 Yeniden üretim mekanizmaları

Başlangıç yığını oluşturulduktan sonra algoritmanın her çevriminde, yeni yığının dizileri bir olasılıklı seçim süreci ile mevcut yığının dizileri arasından seçilir. Yüksek uygunluk değerine sahip diziler, yeni dizilerin elde edilmesinde yüksek olasılığa sahiptir. GA'da yaygın olarak kullanılan seçim mekanizması rulet çemberi seçim mekanizmasıdır. Bu metotta çember,  $n$  aralığa bölünmektedir. Çemberdeki  $i$ . aralık yığındaki  $i$ . diziyi temsil etmektedir ve bu aralığın genişliği, bu dizinin seçilme olasılığına eşittir. Bu durumda çemberdeki aralık genişliklerinin toplamı 1'e eşit olmaktadır. Seçim aşamasında çember,  $n$  defa çevrilir ve her çevirmede 0-1 aralığında bir sayı üretilmektedir. Üretilen sayının düştüğü aralıktaki dizi, yeni yığına kopyalanır [23].

Literatürde mevcut ve çok sık kullanılan yeniden üretim mekanizmaları 4 ana grupta toplanmıştır. Bu yeniden üretim mekanizmaları orantılı, sıralı, turnuva ve denge durumu yeniden üretim mekanizmalarıdır [24].

Orantılı yeniden üretim mekanizmasında yığındaki her bireyin seçilme olasılıkları belirlenir ve bu olasılıklar kullanılarak bir sonraki yığın oluşturulur. Bu grupta bulunan yeniden üretim mekanizmaları; rulet çemberi, rasgele artan ve rasgele evrensel artan metotlarıdır [24].

Sıralı yeniden üretim mekanizmasında yığındaki bireyler, uygunluk değerlerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanır. En iyiden başlayarak bir azalan fonksiyon yardımı ile dizilere kopya sayısı atanır ve orantılı seçim mekanizmalarından birisi kullanılarak yeni yığın elde edilir [24].

Sıralı seçim mekanizmasının sahip olduğu avantajlara sahip olan turnuva seçim mekanizmasında, yığından rassal olarak bir grup dizi seçilir. Bu grup içerisindeki en iyi uygunluk değerine sahip dizi yeni yığına kopyalanır. Yığın genişliğine ulaşıncaya kadar bu işleme devam edilir. Grup genişliği en az ikidir [24].

Denge durumu yeniden üretim mekanizmasında ise doğrusal sıralı seçim mekanizması kullanılarak seçilen bir ya da iki bireye genetik operatörler uygulanır. Elde edilen yeni diziler mevcut yığındaki uygunluk değeri en küçük diziler ile yer değiştirilerek yeni yığın oluşturulur [24].

Literatürde, orantılı, sıralı ve turnuva yeniden üretim mekanizmaları ile birlikte elitist stratejisinin de çok sık kullanıldığı görülmektedir. Elitist stratejisi ile mevcut yığındaki en iyi bir ya da birkaç dizi bir sonraki yığına taşınır. Buradaki amaç, elde edilen en iyi uygunluk değerine sahip dizinin veya dizilerin genetik operatörler kullanımı sonucunda kaybolmasını önlemek ve GA'nın çalışması süresince her iterasyonda yığının en iyisini veya iyilerini korumaktır [24].

### **5.3.5 Genetik operatörler**

GA'da yeniden üretim mekanizması ile arama, yüksek uygunluğa sahip bölgelere doğru yönlendirilir. Bu bölgelerdeki yeni çözüm noktalarına ulaşmada ise genetik operatörler kullanılır. Genetik operatörler, yığının genetik bilgilerini kullanarak yeni çözümleri elde ederler. GA'da kullanılan en genel iki genetik operatör çaprazlama ve mutasyon operatörleridir [25].

#### **Çaprazlama Operatörü**

Çaprazlama, farklı çözümler arasında bilgi değişimini sağlayarak arama uzayının benzer ancak araştırılmamış bölgelerine ulaşmayı sağlayan bir arama operatörüdür. Çaprazlama yapılacak konum rasgele seçilir. Oluşan yeni birey anne ve babanın bazı özelliklerini almış ve bir bakıma ikisinin kopyası olmuştur. Literatürde bilinen ve çok sık kullanılan 3 çaprazlama operatörü vardır. Bunlar 1 noktalı, 2 noktalı ve evrensel çaprazlama operatörleridir [25].

### Mutasyon Operatörü

Mutasyon, GA'nın çalışmasında ikinci dereceden rol oynar. GA'da mutasyon operatörü, küçük bir olasılıkla bir dizi içindeki bir veya birkaç değeri rassal olarak değiştirerek yığında yeni dizilerin yani arama uzayında yeni çözüm noktalarının elde edilmesini sağlar. Özellikle GA'nın son çevrimlerinde mutasyonun etkinliği artmaktadır. Çünkü son çevrimlerde yığın iyi çözümlere yakınsadığından diziler birbirine çok benzemektedir. Bu durum ise çaprazlama operatörünün aramasını kısıtlamaktadır. Bu aşamada mutasyon, yığındaki değişkenliği gerçekleştirerek arama uzayında yeni çözüm noktalarının elde edilmesini sağlamaktadır [25].

### **5.3.6 GA parametreleri**

GA'nın başarısı, yığın genişliği, çaprazlama oranı, mutasyon oranı, seçim stratejisi gibi kontrol parametrelerine karşı çok duyarlıdır. Bu nedenle, GA uygulanmadan önce en uygun parametre setinin belirlenmesi önemli bir adımdır. Yığın genişliği algoritmanın yakınsaması ile doğrudan ilişkilidir [24].

Çaprazlama ve mutasyon operatörlerini kullanmadan önce çaprazlama ve mutasyon oranlarının belirlenmesi gerekir. Bu değer, çaprazlama operatörü için oldukça yüksek bir değer, mutasyon operatörü için ise düşük bir değerdir.

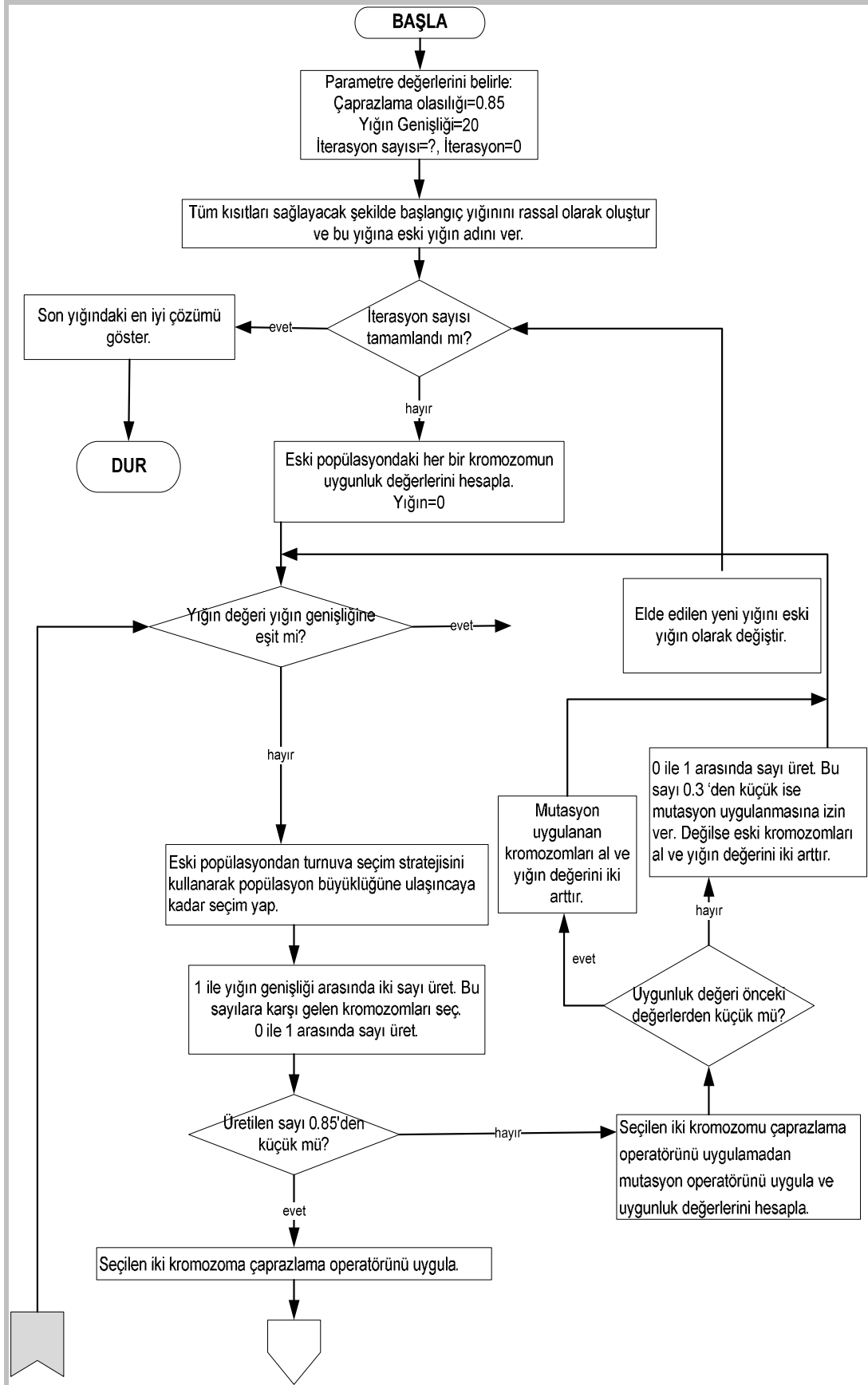
GA parametrelerinin en iyi setinin belirlenmesi son yıllarda önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu amaçla mevcut literatürde yayınlanmış birçok çalışma vardır. Bunlardan sık karşılaşılanlar istatistiksel analiz teknikleri ve sezgisel arama teknikleridir [24].

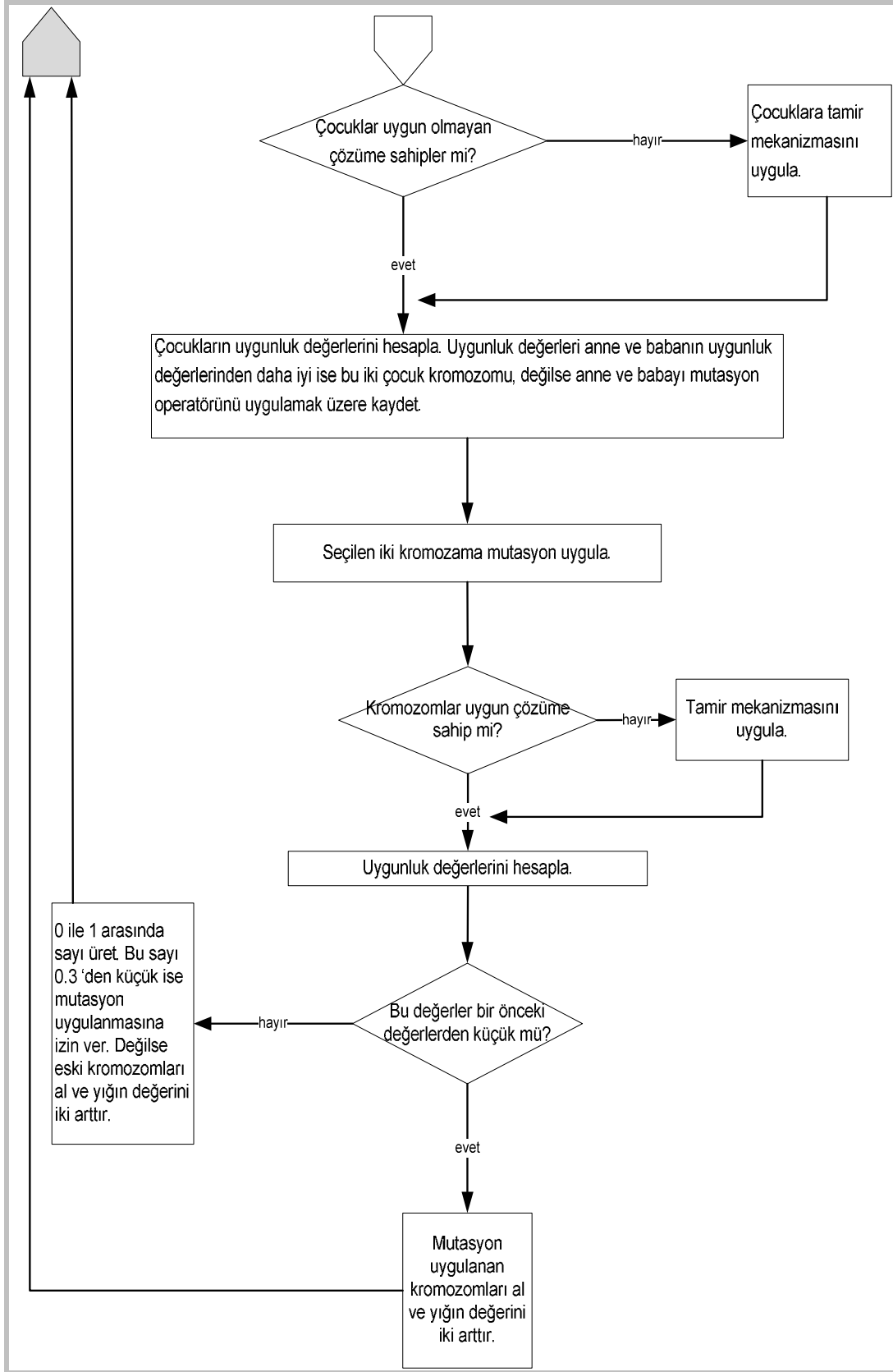
### **5.4 Önerilen GA**

GA, model çözümünde elde edilen sonuçların tamsayıya dönüştürülmesi amacı ile kullanılmaktadır. GA, Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 yaklaşımlarında olduğu gibi hedef programlama modelinin tamsayı koşulsuz çözdürülmesinin ardından elde edilen sonucu değerlendirmektedir. Bu yaklaşımda ilk olarak geliştirilen hedef

programlama modeli tamsayı koşulsuz çözdürülmektedir. Daha sonra modelden elde edilen edilen tamsayı koşulsuz eniyi çözümün komşu tamsayı değerlere yuvarlanması problemi GA tarafından gerçekleştirilmektedir. Önerilen GA'ya ilişkin akış şeması Şekil 5.3'de gösterilmektedir.







Şekil 5.3 Önerilen GA İş Akışı

Şekil 5.3'de gösterilmekte olan önerilen GA'nın akışı incelenecek olursa, hedef programlama modelinden elde edilen sonuçlar temel alınarak başlangıç yığını oluşturulmaktadır. Başlangıç yığını oluşturulurken uygun olmayan çözümler kabul edilmemektedir. Başlangıç yığınının oluşturulmasından sonra yığın genişliğine ulaşıncaya kadar turnuva seçim stratejisi ile seçim yapılmaktadır ve bunlar kaydedilmektedir. Seçim yapılmasının ardından çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin uygulanması amacı ile kaydedilen kromozomlar arasından iki adet kromozom rassal olarak seçilmektedir. Seçilen iki kromozoma çaprazlama operatörü belirli bir olasılıkla uygulanmaktadır. Eğer çaprazlama operatörü uygulanmış ise çocukların uygun çözüm olup olmadıkları kontrol edilmektedir. Çocuklar uygun olmayan çözümlere sahip ise tamir mekanizması uygulanmaktadır. Daha sonra elde edilen çocukların uygunluk değerleri hesaplanmakta ve bu değerler anne-baba bireylerin uygunluk değerleri ile karşılaştırılmaktadır. Eğer çocukların uygunluk değerleri anne-baba bireylerin uygunluk değerlerinden küçük ise bunlar mutasyon operatörü uygulanmak üzere kaydedilmektedir. Ancak çocukların uygunluk değerleri anne-baba bireylerin uygunluk değerlerinden büyük ise anne-baba bireyler mutasyon operatörü uygulanmak üzere kaydedilmektedir. Tüm bunların dışında eğer çaprazlama operatörü uygulanmamış ise bu durumda yine anne-baba bireyler mutasyon operatörü uygulanmak üzere kaydedilmektedir. Herhangi bir seçenek ile kaydedilen kromozomlardan rassal olarak seçilen bir gene mutasyon operatörü uygulanmakta ve elde edilen kromozom eğer uygun çözüme sahip değil ise tamir mekanizması ile kromozomlar uygun çözümlere dönüştürülmektedir. Elde edilen kromozomların uygunluk değerleri bir önceki kromozomlar ile karşılaştırılmaktadır. Eğer mutasyon operatörünün uygulanması sonucu elde edilen kromozomların uygunluk değerleri bir önceki kromozomların uygunluk değerlerinden küçük ise bu kromozomlar yeni yığına taşınmaktadır. Ancak mutasyon operatörünün uygulanması sonucu elde edilen kromozomların uygunluk değerleri bir önceki kromozomların uygunluk değerlerinden büyük ise bu kromozomlar yeni yığına belirli bir olasılıkla taşınmaktadır. Tüm bu işlemler yığın genişliğine ulaşıncaya kadar devam etmektedir. Yığın genişliğine ulaşıldıktan sonra yeni yığın eski yığın olarak adlandırılmakta ve iterasyon sayısı tamamlanincaya kadar yine işlemler devam ettirilmektedir. İzleyen kesimlerde önerilen GA ile ilgili kavramlar yer almaktadır:

#### **5.4.1 Başlangıç yığını**

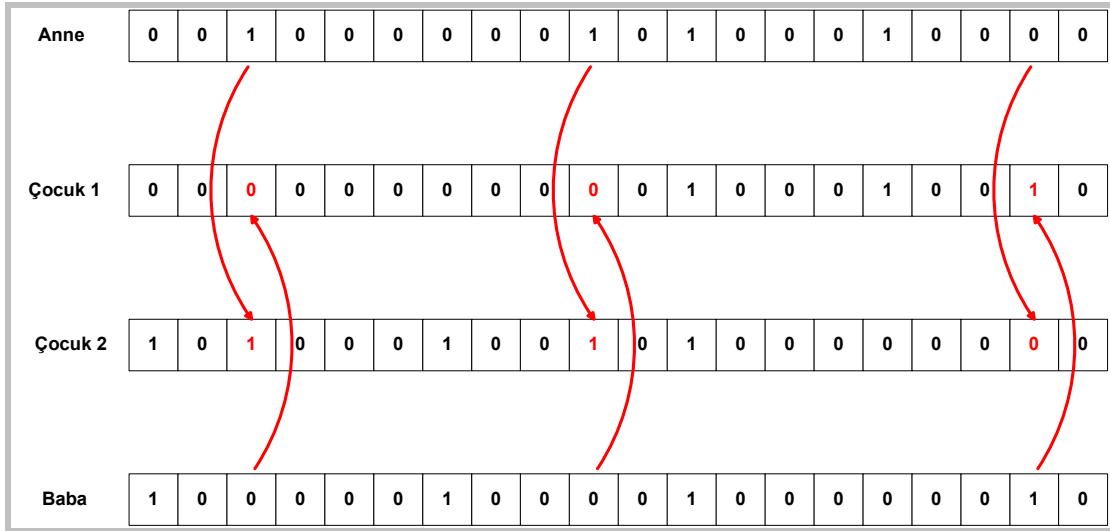
Önerilen GA'da başlangıç çözümlerinin elde edilmesi aşamasında tüm kısıtlar dikkate alınmakta ve tüm uygun çözümler yani kısıtları sağlayan çözümler başlangıç yığına aktarılmaktadır. Bunun yanında elde edilen başlangıç çözümleri, hedef programlama modelinin tamsayı koşulu verilmeden elde edilen çözümleri kullanarak değerlerin tamsayıya yuvarlanması ile elde edilmiştir. Değerlerin tamsayıya yuvarlanması bir başka deyişle yukarı veya aşağı yuvarlanma kararı ise rassal olarak verilmektedir.

#### **5.4.2 Dizi gösterimi**

Önerilen GA'da dizi gösterimi olarak 0-1 (ikili sayı) gösterimi kullanılmıştır. Bunun yanında önerilen yaklaşımda kromozom o ay üretilecek olan modeller ve bu modeller için ayın günlerine ilişkin değerlerinden oluşmaktadır. Yani kromozomdaki her bir gen herhangi bir traktör modelinin herhangi bir güne ilişkin kodlanmış değerini göstermektedir ve kromozom tüm traktör modellerinin günlere ilişkin değerlerini içermektedir. Bu kapsamda hedef programlama modelinden alınan sonuçlar kullanılmakta ve tamsayı olmayan karar değişkenlerinin tamsayıya dönüştürülmesi amacı ile eğer tamsayı olmayan değişken yukarıya yuvarlanmış ise "1", aşağıya yuvarlanmış ise "0" değerini almaktadır. Buna ilişkin örnek Şekil 5.4'de gösterilmektedir.



Örneğin Nisan ayında toplam model sayısı 428, toplam gün sayısı ise 21'dir. Bu durumda kromozom büyüklüğü  $428 \times 21 = 8988$  olmaktadır. Ayrıca literatürde kullanılan tek noktali ve çok noktali çaprazlama gibi yöntemler kullanılmamıştır. Çünkü tamir mekanizmasından dolayı kromozomda çok büyük değişikliklerin olmasına ve bu durumda GA'nın etkili bir şekilde uygulanamamasına neden olmaktadır. Bu nedenle önerilen GA'da çaprazlama tek bir gen üzerinden yapılmaktadır. Yani rassal olarak bir gen seçilmekte ve anne-baba bireylerin bu genleri arasında değişim gerçekleştirilmektedir. Ancak bu değişim her iterasyonda sadece bir gen üzerinde yapılmamaktadır. Kromozom uzunluğunun çok büyük olması nedeni ile çaprazlama noktası olarak 1000 değeri seçilmiş yani her iterasyonda 1000 gen üzerinde çaprazlama yapılmaktadır. Buna ilişkin örnek ise Şekil 5.5'de gösterilmektedir.



Şekil 5.5 Önerilen GA'ya İlişkin Çaprazlama Örneği

Şekil 5.5'de anne ve babanın çaprazlama yapılacak genleri rassal olarak seçilmiş ve çaprazlama sonucu oluşan çocuklar Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

Çocuk 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
Çocuk 2	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 5.6 Önerilen GA'da Çaprazlama Sonucu Oluşan Çocuklar

#### 5.4.5 Mutasyon operatörü

Önerilen GA'da mutasyon operatörü, çaprazlama operatöründe olduğu gibi rassal olarak seçilen tek bir gen üzerinde gerçekleştirilmektedir. Rassal olarak seçilen bir genin değeri "0" ise "1", "1" ise "0" olarak değiştirilmekte ve bu değişim sonucunda tamir mekanizması uygulanmaktadır. Mutasyon operatörünün uygulanmasına ilişkin örnek Şekil 5.7'de verilmektedir.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
↓																			
1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 5.7 Önerilen GA'ya İlişkin Mutasyon Örneği

#### 5.4.6 GA parametreleri

Önerilen GA'da yığın genişliği 20 olarak belirlenmiştir. Ayrıca algoritmanın iterasyon sayısı kromozomun büyük olması nedeni ile 5000 olarak belirlenmiştir.

Çaprazlama olasılığı %85 olarak belirlenmiş ve mutasyon sonucu elde edilen kromozomun uygunluk değeri daha kötü ise bu çözüm %30 olasılıkla kabul edilmektedir.

## 6. UYGULAMALAR VE PERFORMANS ANALİZİ

Hedef programlama modelinin tamsayı koşulsuz çözdürülmesi sonucu elde edilen değişkenlerin tamsayıya dönüştürülmesi aşamasında GA, Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 yaklaşımları kullanılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar yani amaç fonksiyonu değerleri hedeflerden sapmaları göstermektedir. Her ay için traktör modellerinin sayısı farklıdır ve dolayısıyla karar değişkeni sayısı da değişmektedir. Traktör modellerinin sayıları ve türleri değiştiğinde yaklaşımların performanslarını ve model sayıları değiştiğinde nasıl sonuçlar verdiğini gözlemlemek amacı ile 12 ayrı problem seti için çözdürülmüş ve sonuçlar elde edilmiştir. Uygulamada her 12 ay için mevcut traktör modeli miktarı ve toplam karar değişkeni sayısı Çizelge 6.1'de verilmektedir. Bunun yanında 12 farklı problem setine ilişkin veriler Ek 7'de verilmektedir.

Çizelge 6.1 Aylara göre toplam traktör modeli ve Karar Değişkeni Sayısı

AYLAR	TOPLAM TRAKTÖR MODELİ	TOPLAM KARAR DEĞİŞKENİ
OCAK	403	26730
ŞUBAT	334	20160
MART	310	21528
NİSAN	428	27090
MAYIS	218	15180
HAZİRAN	341	22638
TEMMUZ	346	21924
AĞUSTOS	276	19182
EYLÜL	402	25452
EKİM	411	27258
KASIM	273	18150
ARALIK	415	26271



Çizelge 6.1 incelendiğinde karar değişkeni sayılarının her ay için çok fazla olduğu görülmektedir. Bu durumda traktör modellerinin günlük üretim miktarlarına tamsayı koşulu verilerek çözümü elde edilmek istendiğinde çözüm süresinin çok fazla olacağı ve bu durumun karar verici için etkin olmayacağı açıkça görülmektedir.

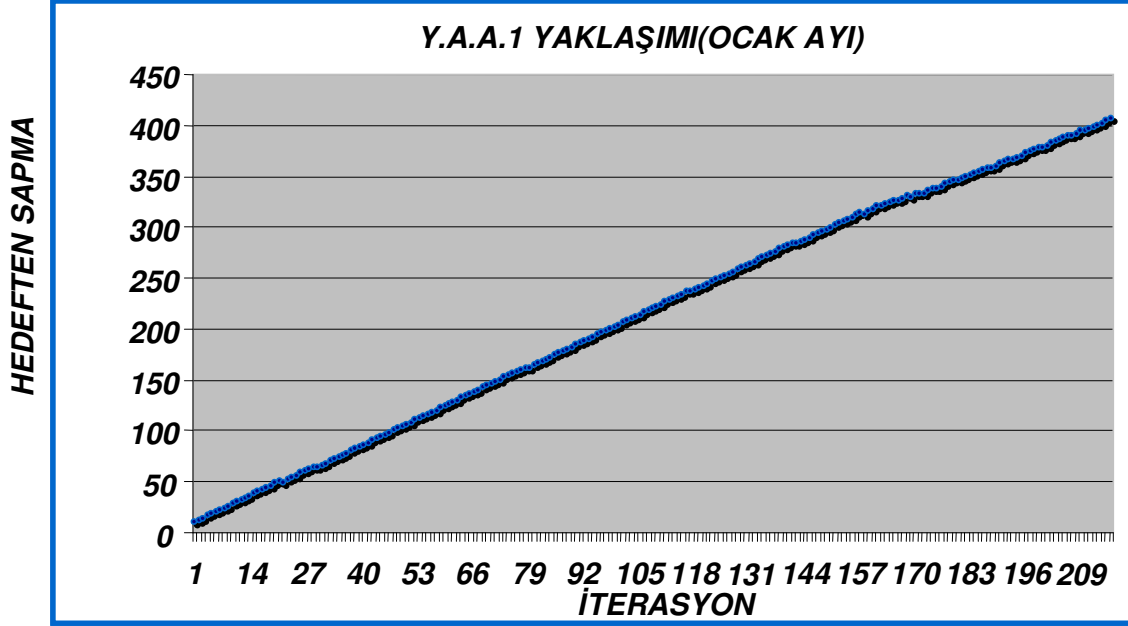
Geliştirilen Y.A.A.1, Y.A.A.2 ve GA yaklaşımları 12 ayın verilerine uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Kullanılan Y.A.A.1, Y.A.A.2 ve GA yaklaşımlarından elde edilen sonuçlar ise Çizelge 6.2’de verilmektedir.

Çizelge 6.2 Y.A.A.1, Y.A.A.2, GA Yaklaşımlarının Aylara Göre Hedeften Sapma Değerleri

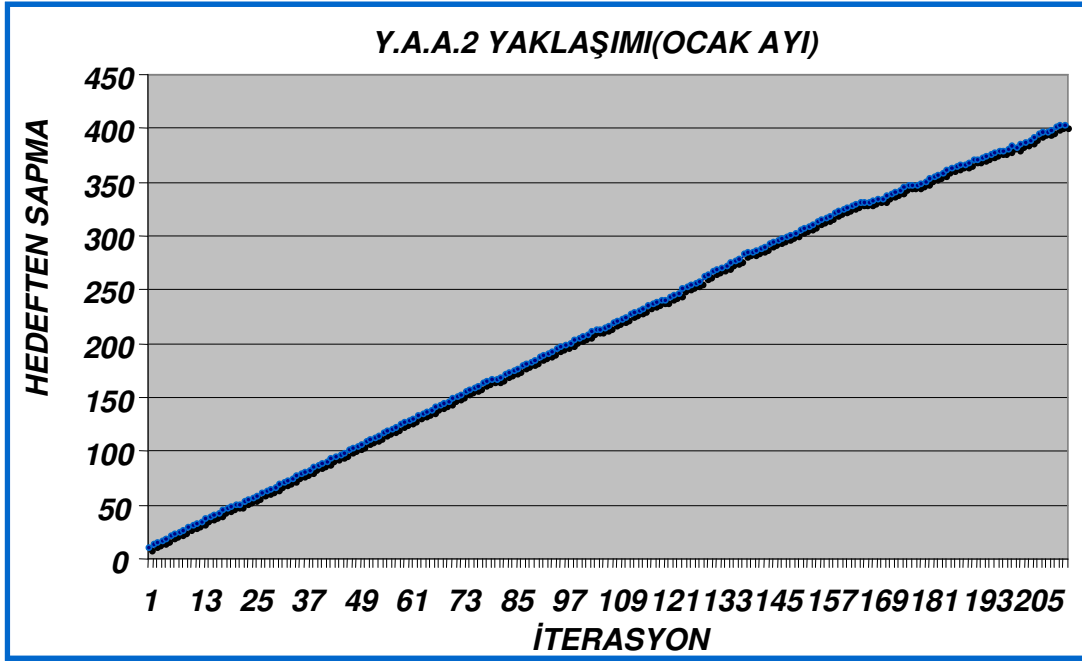
AYLAR	Y.A.A.1	Y.A.A.2	GA
OCAK	760	762	764
ŞUBAT	603	606	614
MART	570	561	594
NİSAN	796	787	802
MAYIS	406	402	420
HAZİRAN	634	607	650
TEMMUZ	642	644	662
AĞUSTOS	522	516	530
EYLÜL	750	734	760
EKİM	763	743	774
KASIM	500	500	525
ARALIK	778	770	780

Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 yaklaşımlarında algoritmanın her iterasyonunda hedeften sapma değerlerinin nasıl bir yol izlediğini gözlemlemek amacı ile Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de gösterildiği gibi iki grafik çizilmiştir ve buna ilişkin değerler Ek 3’de verilmektedir. Çizilen grafik Ocak ayı verileri için oluşturulmuştur. Her iterasyonda traktör modellerinin günlük üretim miktarları tamsayıya dönüştürülmekte ve traktör modellerinin aylık toplam miktarı, aylık toplam gün sayısına eşit olarak bölünemiyor ise bu durumda hedeften sapma değeri her iterasyonda artmaktadır.

Ancak algoritmada tamsayı koşulsuz çözümlerden tamsayılı çözümlere giderken hedeften sapma değerlerinin artması problemin büyüklüğü ve çözüm süresi açısından kabul edilebilir bir durumdur.



Şekil 6.1 Y.A.A.1 Yaklaşımında İterasyon Sayısı ile Hedeften Sapma Değerlerinin Değişimi

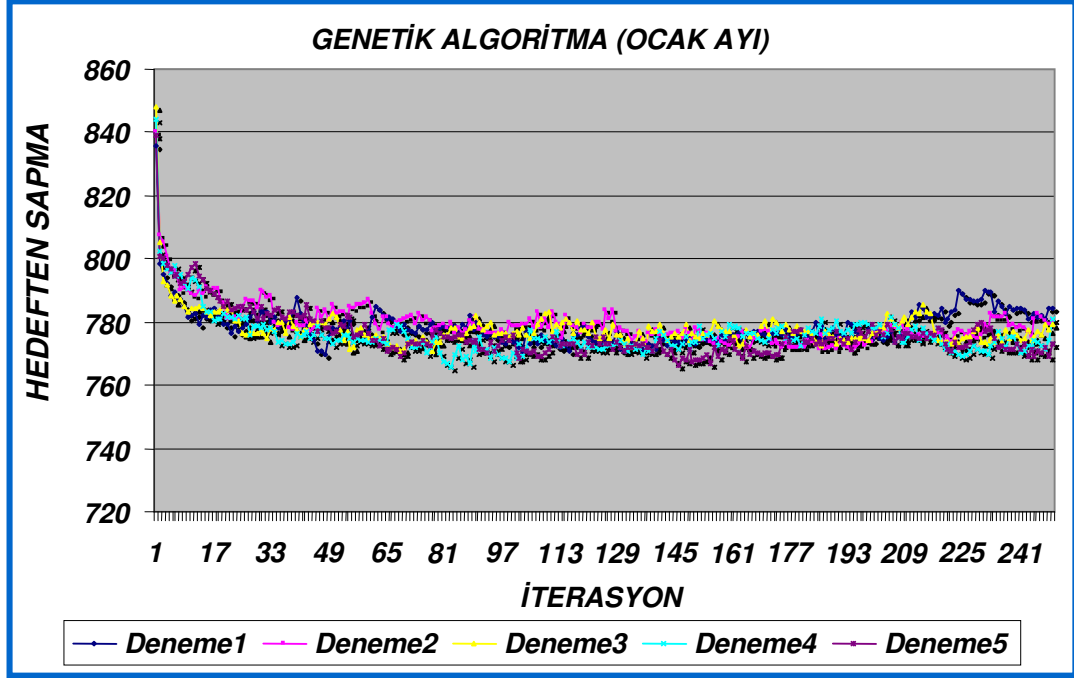


Şekil 6.2 Y.A.A.2 Yaklaşımında İterasyon Sayısı ile Hedefte Sapma Değerlerinin Değişimi

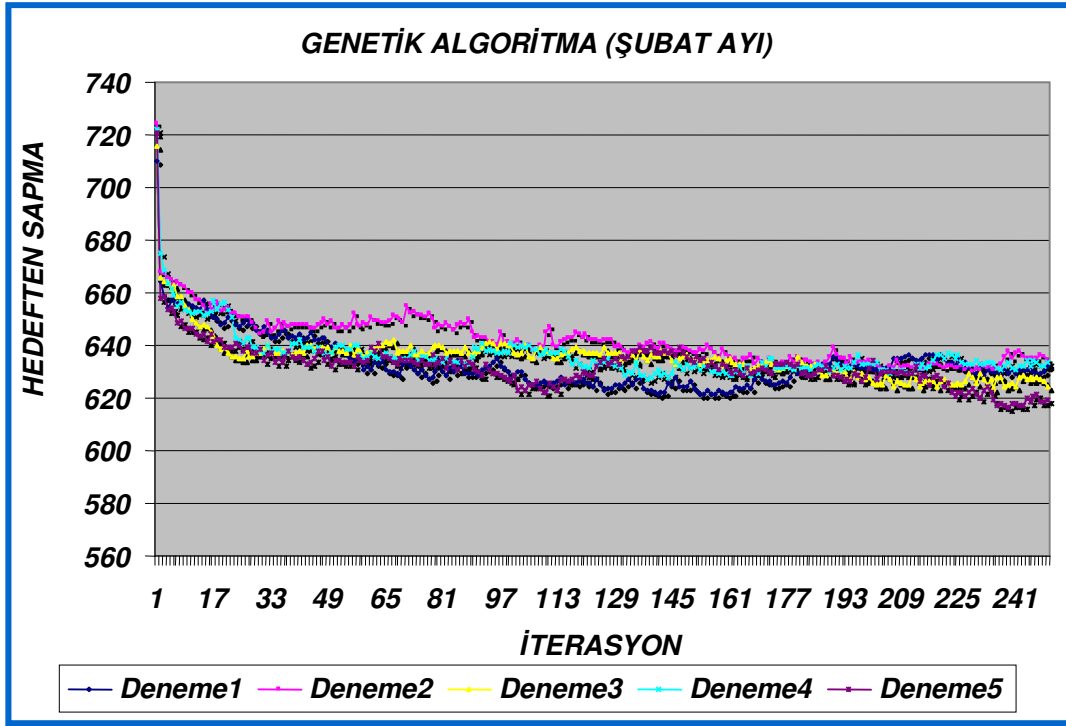
Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de verilen grafikler incelendiğinde her iki algoritmada da hedefte sapma değeri iterasyon arttıkça artmaktadır. Bunun nedeni ise her iterasyonda bir veya birkaç değişken tamsayı koşulu verilerek tamsayı olmasına zorlanmakta ve bu durumda hedefte sapma değeri her gün için tamsayı verilmesi nedeni ile değişmektedir. Ancak her iterasyonda bu değer artmamakta, bazen azalma veya sabit kalma gibi durumlarda gerçekleşmektedir. Hedefte sapma değerinin her iterasyondaki artış veya azalış miktarları belirli bir şekilde gerçekleşmemekte bu sayı değişebilmektedir.

GA yönteminde ise her ay için beş adet deneme yapılmış ve bu denemelerin her iterasyonunda, yığındaki tüm çözümlerin değerleri elde edilmiştir. GA yönteminde her iterasyonda hedefte sapma değerinin nasıl değiştiğini gözlemlemek amacı ile Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 yaklaşımlarında olduğu gibi grafik çizilmiştir. Grafiğin çizilebilmesi için her denemenin ayrı ayrı yığın değerlerinin ortalaması alınmıştır. Grafiğin çizilmesinde kullanılan tüm aylara ilişkin değerler Ek 4’de verilmektedir.

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'de verilen grafikler sırasıyla Ocak ve Şubat ayları için oluşturulmuştur ve diğer aylar için oluşturulan grafikler Ek 5'de verilmektedir.



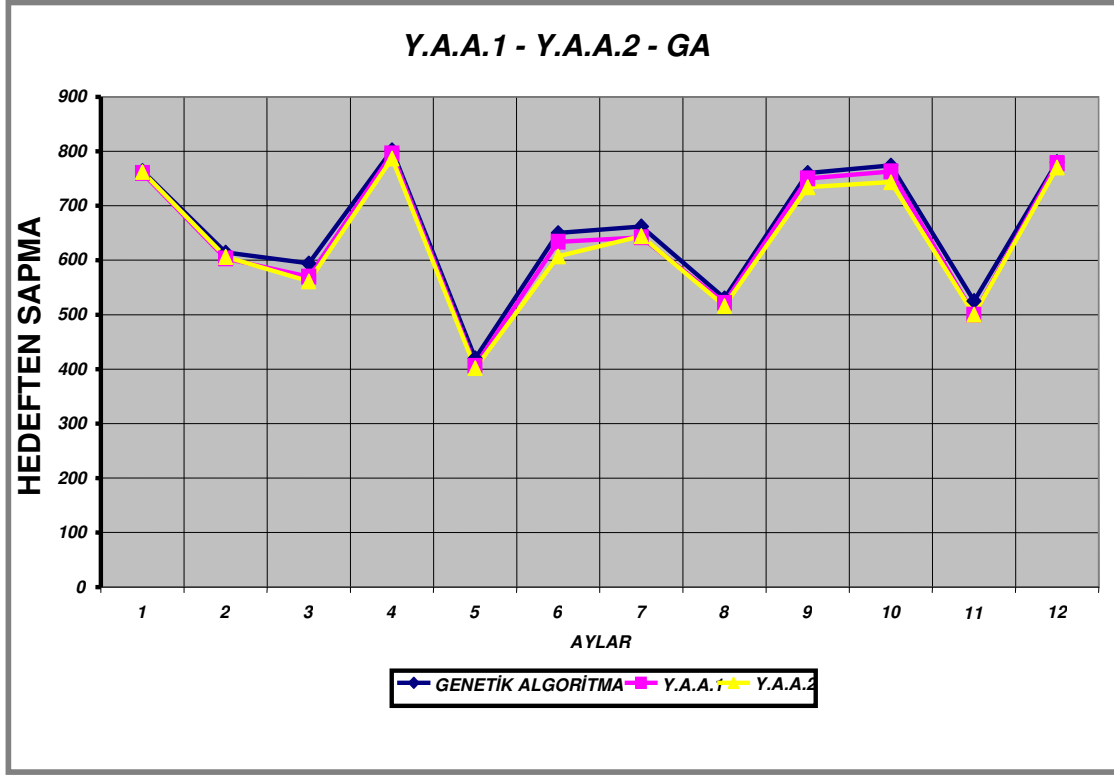
Şekil 6.3 GA Metodunda İterasyon Sayısı ile Hedeften Sapma Değerlerinin Değişimi(Ocak Ayı)



Şekil 6.4 GA Metodunda İterasyon Sayısı ile Hedefte Sapma Değerlerinin Değişimi(Şubat Ayı)

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'de verilen grafik incelendiğinde Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 yaklaşımlarından farklı bir durum ortaya çıkmıştır ve grafik gittikçe azalan bir eğilim göstermektedir. Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 yaklaşımlarında traktör modellerinin günlük üretim miktarları başlangıç çözümünde tamsayı koşulsuz olarak alınmakta ve algoritmanın her iterasyonunda bu değerler tamsayı değerlere dönüştürülmektedir. Ancak GA yaklaşımında traktör modellerinin günlük üretim miktarları başlangıçta tamsayı değerleri almakta ve bu tamsayı değerleri üzerinden iyileştirme sağlanmaktadır. Bu nedenle GA yaklaşımında hedefte sapma değerleri azalan bir eğilim göstermektedir. GA yaklaşımının sonuçlarına ilişkin yakınsama grafikleri ise Ek 6'da verilmektedir.

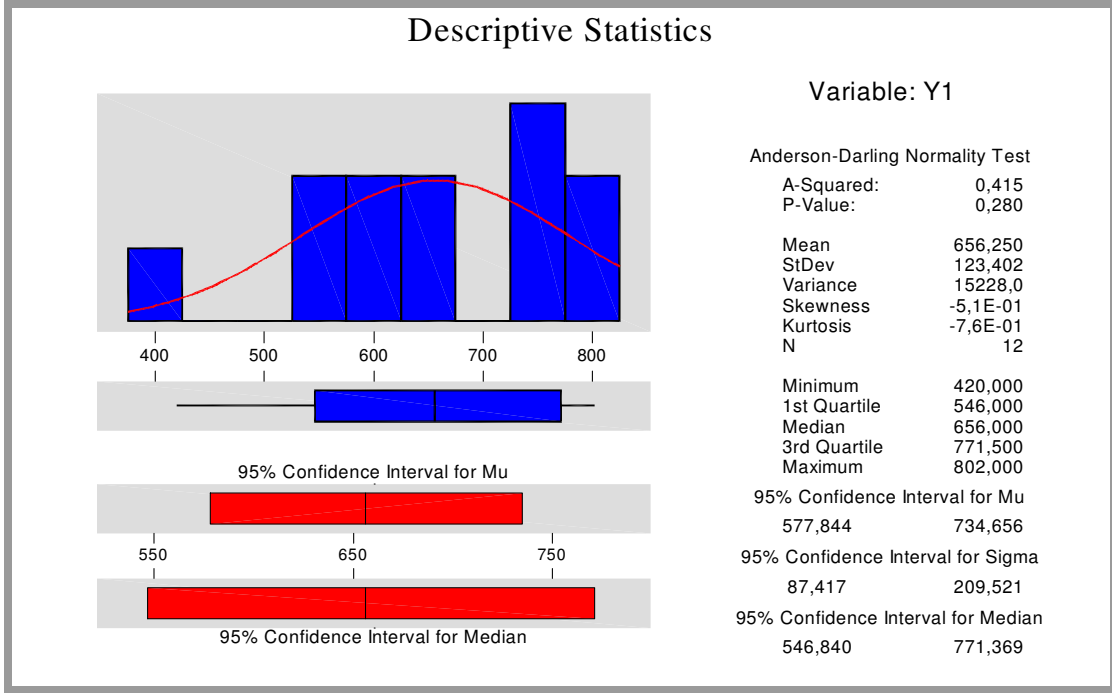
Ayrıca Y.A.A.1, Y.A.A.2 ve GA yaklaşımlarının her ay için hedefte sapma değerlerinin birlikte gösterildiği grafik ise Şekil 6.5'de verilmektedir.



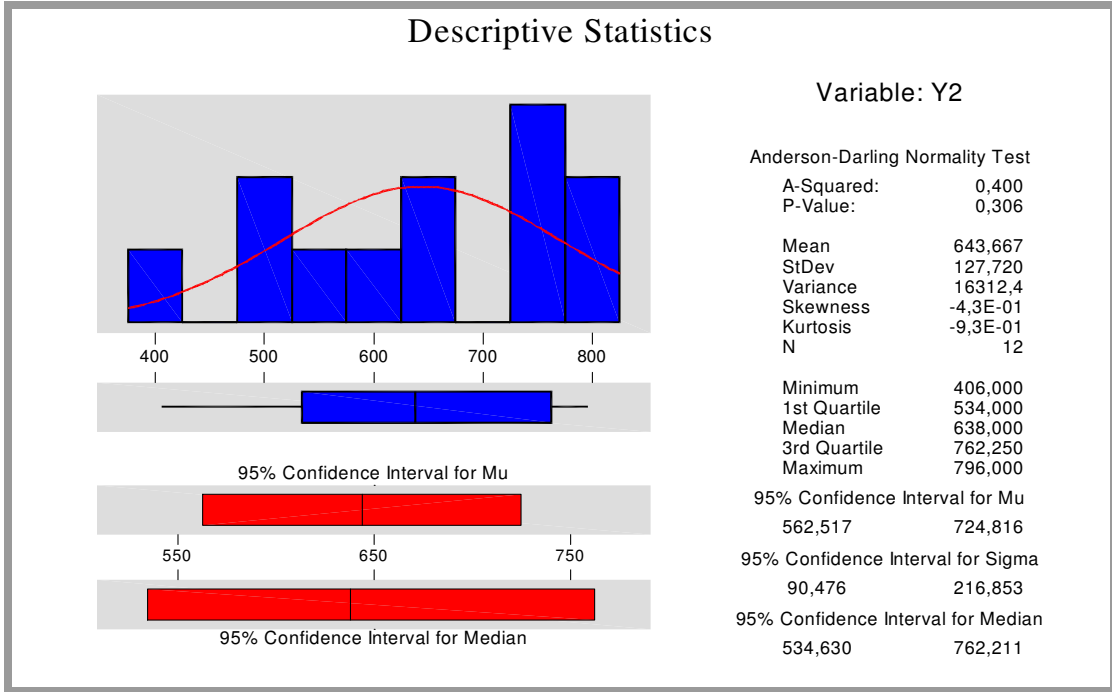
Şekil 6.5 Y.A.A. ve GA Yaklaşımlarının Hedefte Sapma Değerlerinin Grafik Gösterimi

İki yöntemin hedefte sapma değerlerinin gösterildiği grafik (Şekil 6.5) incelendiğinde GA yaklaşımının Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 yaklaşımlarına göre daha büyük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu yöntemler arasında bir farklılık olup olmadığı istatistiksel analizlerle incelenmiştir.

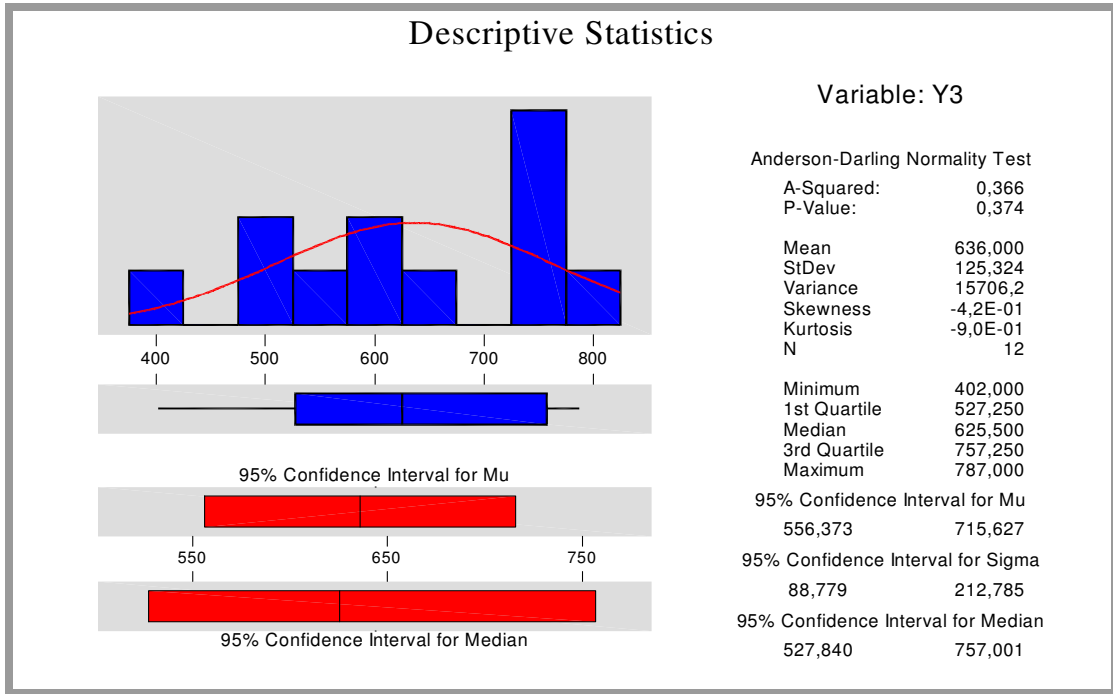
İlk olarak yaklaşımlardan elde edilen hedefte sapma değerlerinin genel özelliklerini incelemek amacı ile betimsel istatistikleri değerlendirilmiştir. Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de bu sonuçlar verilmektedir.



Şekil 6.6 GA Yaklaşımının Betimsel İstatistik Çıktısı



Şekil 6.7 Y.A.A.1 Yaklaşımının Betimsel İstatistik Çıktısı



Şekil 6.8 Y.A.A.2 Yaklaşımının Betimsel İstatistik Çıktısı

Çizelge 6.3 GA, Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 Yaklaşımlarının Betimsel İstatistik Sonuçları

Betimsel İstatistikler: Y1; Y2; Y3										
Değişken	Örneklem Büyüklüğü (N)	Ortalama	Medyan	Kesilmiş Ortalama	Standart Sapma	Ort.'nın Standart Hatası	Min.	Mak.	Q1	Q3
Y1	12	656,3	656,0	665,3	123,4	35,6	420	802	546	771,5
Y2	12	643,7	638,0	652,2	127,7	36,9	406	796	534	762,3
Y3	12	636,0	625,5	644,3	125,3	36,2	402	787	527,3	757,3

GA, Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 yöntemlerinin hedeften sapma değerlerinin birbirlerine yakın olması betimsel istatistiklerinin yakın bir şekilde değer almasına neden olmuştur. Bu üç yöntemin ortalamaları sırası ile 656.3, 643.7, 636 olarak, standart sapmaları ise sırası ile 123.4, 127.7 ve 125.3 olarak bulunmuştur (Çizelge 6.3). Ayrıca "Anderson-Darling Normality" testi ile bu üç yöntemin normal dağılıma sahip olup olmadığı araştırılmıştır. Yaklaşımların betimsel istatistik çıktıları (Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8) incelenecek olursa test sonucunda elde edilen p değerleri bu yöntemlerin normal dağılıma sahip olduklarını göstermektedir. Çünkü p değerleri sırası ile 0.280, 0.306 ve 0.374 olarak bulunmuş olup bu değerler



anlamlılık derecesinden ( $\alpha$ ) küçüktür (%95 güven aralığı ile sonuçlar elde edilmiştir ve anlamlılık derecesi;  $\alpha = 0.05$ 'tir).

Y.A.A.1, Y.A.A.2 ve GA yaklaşımlarının birbirleri ile istatistiksel olarak karşılaştırılmaları aşamasında ise Çiftli t-testi (Paired t-test) kullanılmıştır. Bu testin kullanılmasının nedeni ise her ayın verilerinin aynı olması ve her bir yaklaşım için aynı veri kümeleri ile sonuçların elde edilmesidir. Bu analize ilişkin sonuçlar Çizelge 6.4, Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6'de verilmektedir.

Çizelge 6.4 GA ve Y.A.A.1 Yaklaşımlarının Çiftli t- testi Sonuçları

<b>Çiftli T-Testi ve Güven Aralığı: Y1; Y2</b>				
Y1 - Y2 için Çiftli T				
	Örneklem Büüklüğü (N)	Ortalama	Standart Sapma	Ortalamanın Standart Hatası
Y1	12	656,3	123,4	35,6
Y2	12	643,7	127,7	36,9
Fark	12	12,58	7,48	2,16
Ortalamalar arasındaki fark için %95 Güven Aralığı: (7,83; 17,33)				
Ortalamalar farkının T-Testi = 0: T Değeri = 5,83 P Değeri = 0,000				

Çizelge 6.5 GA ve Y.A.A.2 Yaklaşımlarının Çiftli t- testi Sonuçları

<b>Çiftli T-Testi ve Güven Aralığı: Y1; Y3</b>				
Y1 - Y3 için Çiftli T				
	Örneklem Büüklüğü (N)	Ortalama	Standart Sapma	Ortalamanın Standart Hatası
Y1	12	656,3	123,4	35,6
Y3	12	636,0	125,3	36,2
Fark	12	20,25	11,74	3,39
Ortalamalar arasındaki fark için %95 Güven Aralığı: (12,79; 27,71)				
Ortalamalar farkının T-Testi = 0: T Değeri = 5,97 P Değeri = 0,000				

Çizelge 6.6 Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 Yaklaşımlarının Çiftli t- testi Sonuçları

<b>Çiftli T-Testi ve Güven Aralığı:Y2; Y3</b>				
Y2 - Y3 için Çiftli T				
	Örneklem Büyüküğü (N)	Ortalama	Standart Sapma	Ortalamanın Standart Hatası
Y2	12	643,7	127,7	36,9
Y3	12	636,0	125,3	36,2
Fark	12	7,67	9,41	2,72
Ortalamalar arasındaki fark için %95 Güven Aralığı: (1,69; 13,65)				
Ortalamalar farkının T-Testi = 0: T Değeri = 2,82 P Değeri = 0,017				

Çizelge 6.3, GA ve Y.A.A.1 yaklaşımları için uygulanan testin sonuçlarını göstermektedir. Bu test için kurulan hipotez GA ve Y.A.A.1 yaklaşımları sonuçlarının ortalamaları arasındaki farkın sifıra eşit olmasıdır. Alternatif hipotez ise yaklaşımların sonuçlarının ortalamaları arasındaki farkın sifirdan farklı olmasıdır. Kurulan hipotez aşağıdaki gibidir:

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_A : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Testin uygulanması sonucunda elde edilen değerler bu iki yöntem arasında bir fark olduğunu göstermektedir. Çünkü test sonucunda p değeri "0" olarak elde edilmiş ve bu değer anlamlılık derecesinden küçük bir değerdir ( $p=0 < \alpha=0.05$ ). p değerinin anlamlılık derecesinden küçük olması hipotezin reddedilmesi anlamına gelmektedir. Yani her iki yöntemin ortalamaları arasında anlamlı bir fark bulunmaktadır.

GA ve Y.A.A.1 yaklaşımının birbirleri ile karşılaştırılması sonucu elde edilen sonuçların yer aldığı tablo incelendiğinde bu iki yöntemin ortalamaları farkı için hesaplanan %95'lik güven aralığı; [7,83; 17,33] olarak bulunmuş ve bu aralığın "0" değerini kapsamadığı görülmektedir. Yani bu durum yöntemler arasında anlamlı

bir fark olduğunu ifade etmektedir. Bunun yanında güven aralığının alt ve üst sınırları pozitif olarak elde edilmiştir ve bu da GA yaklaşımı ortalamasının Y.A.A.1 yaklaşımının ortalamasından büyük olduğunu yani Y.A.A.1 yaklaşımının hedeften sapma değerinin GA yaklaşımına göre daha küçük olduğunu göstermektedir.

GA ve Y.A.A.2 yaklaşımları için uygulanan testin sonuçları (Çizelge 6.4), GA ve Y.A.A.1 yaklaşımı için uygulanan testin sonuçları ile çok benzemektedir. Bu test için kurulan hipotez bir önceki analizde olduğu gibi GA ve Y.A.A.2 yaklaşımları sonuçlarının ortalamaları arasındaki farkın sifıra eşit olmasıdır. Alternatif hipotez ise yaklaşımların sonuçlarının ortalamaları arasındaki farkın sıfırdan farklı olmasıdır. Kurulan hipotez aşağıdaki gibidir:

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_A : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Testin uygulanması sonucunda elde edilen değerler bu iki yöntem arasında bir fark olduğunu göstermektedir. Çünkü test sonucunda p değeri "0" olarak elde edilmiş ve bu değer anlamlılık derecesinden küçük bir değerdir ( $p=0 < \alpha=0.05$ ). p değerinin anlamlılık derecesinden küçük olması hipotezin reddedilmesi anlamına gelmekte ve buda her iki yöntemin ortalamaları arasında anlamlı bir fark bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca sonuçların yer aldığı tablo incelendiğinde bu iki yöntemin ortalamaları farkı için oluşturulan %95'lik güven aralığı; [12,79; 27,71] olarak bulunmuştur. Bu aralığın "0" değerini kapsamadığı ve aralığın alt ve üst sınır değerlerinin pozitif olduğu görülmektedir. Bunun sonucu olarak iki yaklaşımı karşılaştırdığımız zaman yöntemlerin ortalamaları arasında %95 güven ile anlamlı bir fark olduğu ortaya çıkmakta ve bunun yanında GA yaklaşımı ortalamasının Y.A.A.2 yaklaşımının ortalamasından büyük olduğu yani Y.A.A.1 yaklaşımının hedeften sapma değerinin GA yaklaşımına göre daha küçük olduğu görülmektedir.

Son olarak Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 yöntemleri karşılaştırılmış ve bu iki yöntem arasında bir fark olup olmadığı istatistiksel olarak incelenmiştir (Çizelge 6.5). Bu iki yöntemin ortalamaları arasında fark gözlemlenmiş ve hipotez diğer testlerde

olduğu gibi kurulmuştur. Yani test için kurulan hipotez Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 yaklaşımlarının ortalamaları arasındaki farkın sıfıra eşit olmasıdır. Alternatif hipotez ise yaklaşımların ortalamaları arasındaki farkın sıfırdan farklı olmasıdır. Kurulan hipotez aşağıdaki gibidir:

$$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_A : \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

Testin uygulanması sonucunda elde edilen değerler bu iki yöntem arasında bir fark olduğunu göstermektedir. Çünkü test sonucunda p değeri “0.017” olarak elde edilmiş ve bu değer anlamlılık derecesinden küçük bir değerdir ( $p=0.017 < \alpha=0.05$ ). p değerinin anlamlılık derecesinden küçük olması hipotezin reddedilmesi anlamına gelmekte ve buda her iki yöntemin ortalamaları arasında anlamlı bir fark olduğunu göstermektedir. Ayrıca “0.017” olarak hesaplanan p değeri yukarıda gerçekleştirilen testler sonucunda elde edilen p değerlerinden farklı bir sonuçtur. Eğer anlamlılık derecesi ( $\alpha$ ) 0.017’ den küçük bir değer seçilirse hipotez kabul edilir. Eğer hipotez kabul edilirse iki yöntemin ortalamaları arasında bir fark olmadığı yani yöntemler arasında anlamlı bir fark olmadığı sonucu çıkarılır. Tüm bunların yanında bu testte hesaplanan p değeri yukarıda gerçekleştirilen diğer iki testin p değerlerinden büyük bir değerdir ve bu diğer yöntemlere Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 yöntemleri ortalamalarının birbirine daha yakın olduğunu göstermektedir. Ancak burada anlamlılık derecesi ( $\alpha$ ) 0.05 olarak alındığı için hipotez reddedilmiştir.

Sonuçların yer aldığı tablo incelendiğinde bu iki yöntemin ortalamaları farkı için oluşturulan %95’lik güven aralığı; [1,69; 13,65] olarak bulunmuştur. Bu aralığın “0” değerini kapsamadığı ve aralığın alt ve üst sınır değerlerinin pozitif olduğu görülmektedir. Bunun sonucu olarak iki yöntemi karşılaştırdığımız zaman yöntemlerin ortalamaları arasında %95 güven ile fark olduğu ortaya çıkmakta ve bunun yanında Y.A.A.1 yaklaşımı ortalamasının Y.A.A.2 yaklaşımının ortalamasından büyük olduğu görülmektedir. Tüm bu incelemeler sonucunda Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 yaklaşımları arasında anlamlı bir fark olduğu ve Y.A.A.1 yaklaşımının Y.A.A.2 yaklaşımı hedeften sapma değerinin daha büyük olduğu görülmektedir.

Yukarıda gerçekleştirilen testler, Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 ile GA yöntemleri arasında anlamlı bir fark olduğunu ve GA yönteminin Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 yöntemlerine göre daha kötü amaç fonksiyonu değerleri verdiğini göstermektedir. Ancak bir diğer durum ise gerçekleştirilen algoritmaların çalışma süreleridir. Algoritmaların çalışma süreleri üretim planını gerçekleştirecek olan karar verici açısından çok önemlidir. Eğer karar verici farklı senaryolar ile farklı sonuçları görmek ve buna göre üretim planı hakkında bir karar vermek istiyor ise bu durumda kısa sürede sonuç etmek ve farklı senaryoların sonuçlarını görmek isteyecektir. Ancak üretim planı için iyi sonuç veren yöntemi kullanmak istediği zaman ise çalışma süresine bakmadan tek bir sonucu görmek isteyebilir. Bu durumlarda karar vericinin seçeceği algoritma tercihleri nedeni ile farklı olacaktır. Çalışma süreleri bakımından GA, Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 yaklaşımlarına göre etkin bir şekilde daha az sürede sonuç vermektedir. Bu durumda karar verici kısa sürede farklı senaryolar ile farklı sonuçları görmek ve bu sonuçlara göre karar vermek istiyorsa GA yaklaşımını, diğer yönden süre ile ilgili bir kısıt olmadan iyi sonuçları gözlemlemek ve üretim planını bu sonuçlara göre oluşturmak istiyorsa Y.A.A.1 veya Y.A.A.2 yaklaşımını kullanacaktır.

## 7. SONUÇ

Kitlesel özel üretim müşteriler için özelleştirilmiş ürünleri esnek bir şekilde ve düşük maliyetle üretebilme ve bu ürünleri müşterilere sağlayabilme yeteneğidir. Firmaların pazarda üstünlük sağlayabilmeleri için kitlesel özel üretim kavramını üretim yönetimi faaliyetlerinde değerlendirmeleri gerekmektedir. Ayrıca kitlesel özel üretim ile müşteri taleplerine ve pazardaki değişikliklere hızlı bir şekilde cevap verebilme ve bu sayede çevikliği sağlama amaçlanmaktadır.

Tez kapsamında traktör imalatı yapan bir işletmede, ürün üzerindeki müşteri isteklerini göz önüne alacak şekilde ve bununla birlikte üretim yönetiminde çevik üretim felsefesinin benimsenmesini sağlayacak bir üretim planlama yaklaşımının tasarımı ve geliştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede ürün çeşitliliğinden vazgeçmeden ve seri üretim ilkelerini de gözetilen bir sistem oluşturulmuştur. Tüm bu amaçlar doğrultusunda üretim planının siparişlere göre ürünleri olabildiğince homojen dağıtımının sağlanması, satış tahminlerine, talep tarihlerine ve stok bilgilerine göre modellere paylaşılması, günler arasında iş yükü dengelerinin gözetilmesi hedeflenmiş ve bu hedeflere ulaşmak amacı ile yaklaşımlar geliştirilmiştir.

İşletme tarafından benimsenen ve çevik üretime yönelik üretim planlamaya özgü hedefler, bir hedef programlama modeli ile gerçekleştirilmiştir. Ancak geliştirilen hedef programlama modelinde karar değişkenlerinin sayısı çok fazladır ve bu nedenle modelin çözüm süresi çok artmaktadır. Bu durumda üretim planının oluşturulması amacı ile iki yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımlar Y.A.A.1, Y.A.A.2 ve GA yaklaşımlarıdır. Ancak önerilen yaklaşımlar geliştirilen hedef programlama modelinin tamsayı koşulsuz çözdürülmesi sonucu elde edilen çözümü değerlendirmektedirler. Bu çözüm başlangıç olarak kullanılmakta ve arama uzayında bu çözümden ilerleyerek sonuçlar elde edilmektedir.

Ayrıca tez kapsamında, üretim planının oluşturulmasının yanında aylık üretilmesi gereken traktör modellerinin belirlenmesi çalışması da gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada bir KDS geliştirilmiş ve traktör modellerinin belirlenmesi aşamasında

gerekli tüm bilgiler karar verici tarafından belirlenmesi sağlanmıştır. Geliştirilen KDS'nde üretim miktarlarının belirlenmesinin yanında karar vericiye parçaların stok bilgilerine veya tedarik zamanlarına göre traktör modellerinin planlanan ay içerisinde nasıl bir şekilde dağıtım yapacağı seçeneği de sunulmuştur.

Geliştirilen KDS, karar vericinin isteklerine uygun, esnek ve karar vericinin isteklerini gerçekleştirmede hızlı bir araçtır. Karar vericiye seçenekler sunar, verilen bilgilere göre işlemleri gerçekleştirir ve sonuçları etkin, anlaşılabilir nitelikte sergiler.

Önerilen yaklaşımlardan elde edilen çözümler en iyi çözümü garanti etmemektedir. Ancak karar vericinin kısa sürede en iyi çözüme yakın çözümler elde etmesinde etkin yaklaşımlardır. Çünkü üretim planını hazırlayan kişi kısa sürede çözümler elde etmek ve farklı senaryolar ile planlamanın nasıl gerçekleştirilmesi gerektiğine karar vermek isteyecektir.

Gerçekleştirilen çalışmanın etkililiğini gözlemek ve sonuçların kalitesini görebilmek amacıyla performans analizi gerçekleştirilmiştir. Performans analizi kısmında önerilen yaklaşımların birbirleriyle istatistiksel olarak karşılaştırılması ve ayrıca yaklaşımların kendi içinde gösterdikleri performansları gösterilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre önerilen yaklaşımlardan Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 yaklaşımlarının GA yaklaşımına göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ancak çözüm süreleri açısından GA yaklaşımının Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 yaklaşımlarına göre daha iyi olduğu görülmektedir. Bu aşamada karar verici eğer kısa sürede farklı senaryoları görerek bu senaryoların sonuçlarına göre karar vermek isterse bu durumda GA yaklaşımını tercih edecektir. Ancak karar verici süre kısıtı olmadan iyi sonuçları gözlemek ve bu sonuçları kullanmak isterse bu durumda ise Y.A.A.1 veya Y.A.A.2 yaklaşımını kullanacaktır.

Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışma gerçek bir uygulamadır ve geliştirilen hedef programlama modeli probleme özgü bir modeldir. Ancak karar değişkeni sayısının fazla olması nedeni hedef programlama modelinin çözümüne ulaşılamamış ve bu durumda kısa sürede iyi sonuçlar verecek sezgisel yaklaşımlar

önerilmiştir. Önerilen yaklaşımlar Y.A.A.1, Y.A.A.2 ve GA yöntemleridir. Yöntemlerin gerçek veriler üzerine uygulanması sonucunda analizler gerçekleştirilmiş ve Y.A.A.2 yönteminin diğer yöntemlere göre iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.



## KAYNAKLAR LİSTESİ

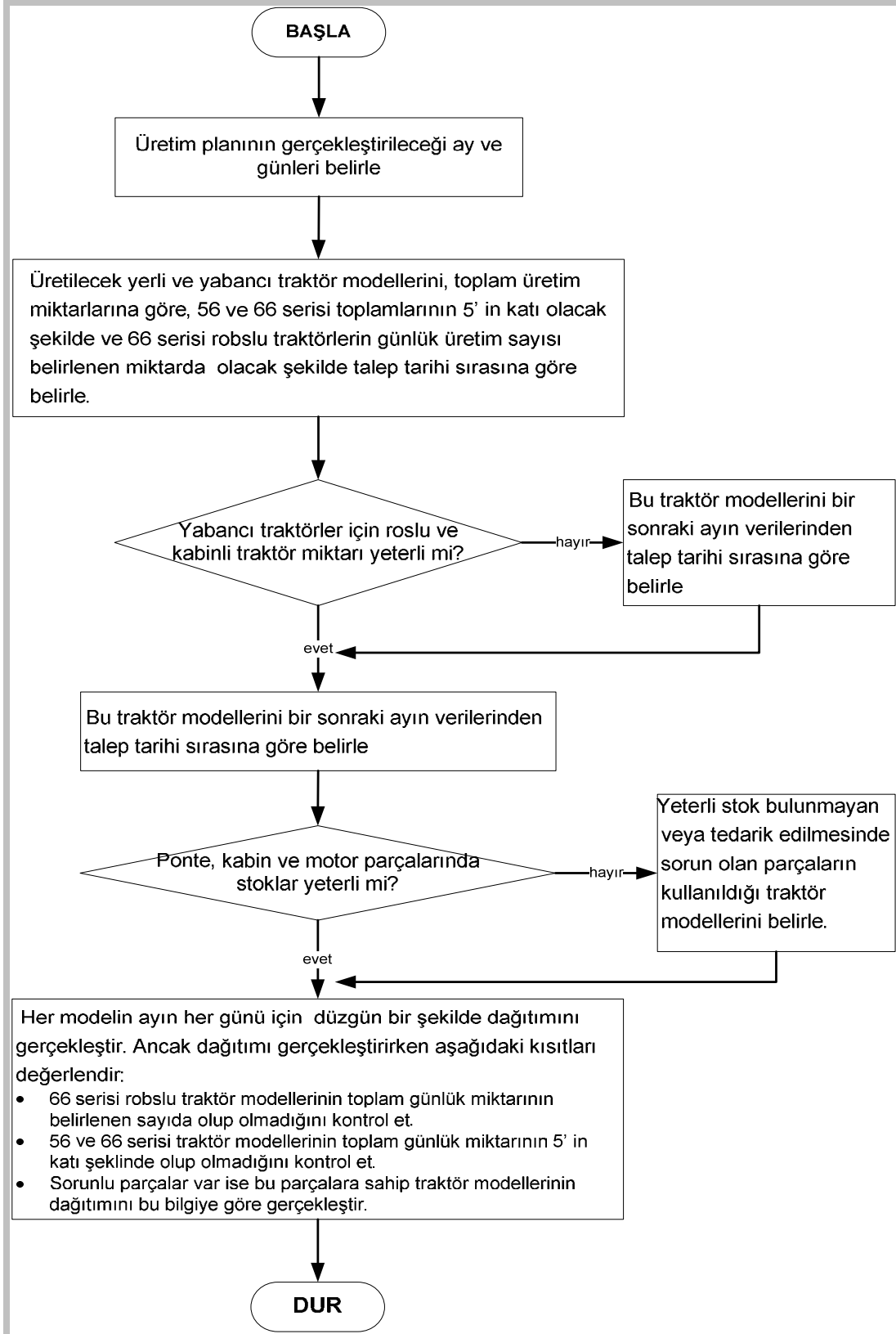
- [1] SILVERIA, Giovanni Da, BORENSTEIN, Denis, and FOGLIATTO, Flávio S., Mass Customization: Literature Review and Research Directions, *International Journal of Production Economics*, vol.72, s.1-13, 2001.
- [2] PINE, Joseph, VICTOR, Bart, and BOYNTON, Andrew, Making mass customization work, *Harvard Business Review*, vol.71, no.5, s.108-111, 1993.
- [3] PINE, Joseph, *Mass Customization: The New Frontier in Business*, Harvard Business School Press, Boston, MA, 1993.
- [4] SELLADURAI, R.S., Mass customization in operations management: oxymoron or reality, *Omega*, vol.32, s.295-300, 2004.
- [5] TU, Qiang, VONDEREMBSE, Mark A., and RAGU-NATHAN, T.S., The impact of time-based manufacturing practices on mass customization and value to customer, *Journal of Operations Management*, vol.19, s.201–217, 2001.
- [6] ÅHLSTRÖM, Pär, and WESTBROOK, Roy, Implications of mass customization for operations management, *International Journal of Operations and Production Management*, vol.19, no.3, s.262-274, 1999.
- [7] ZHANG, Z., and SHARIFI, H., A methodology for achieving agility in manufacturing organizations, *International Journal of Operations and Production Management*, vol.20, s.496-512, 2000.
- [8] PARTANEN, Jari, and HAAPASALO, Harri, Fast production for order fulfillment: Implementing mass customization in electronics industry, *International Journal of Production Economics*, vol.90, s.213-222, 2004.
- [9] YANG, S.L., and LI, T.F., Agility evaluation of mass customization product manufacturing, *Journal of Materials Processing Technology*, vol.129, s. 640-644, 2002.
- [10] GUNASEKARAN, A., Agile Manufacturing: A framework for research and development, *International Journal of Production Economics*, vol.62, s.87-105, 1999.
- [11] GAZMURI, Pedro, and ARRATE, Ignacio, Modeling and Visualization for a Production Planning Decision Support System, *International Transactions in Operational Research*, vol.3, s.249-258, 1995.
- [12] TU, Yiliu, Production planning and control in a virtual One-of-a-Kind Production company, *Computers in Industry*, vol.34, s.271-283, 1997.
- [13] SIANESI, Andrea, An Analysis of the Impact of Plant and Management Variables in a Multi-Stage, Mixed-Model Production System, *International Journal of Production Economics*, vol.56, s.575-585, 1998.

- [14] ZÄPFEL, Günther, Customer-order-driven production: An economical concept for responding to demand uncertainty?, International Journal of Production Economics, vol.56-57, s.699-709, 1998.
- [15] DING, Fong-Yuen, and TOLANI, Ravi, Production planning to support mixed-model assembly, Computers and Industrial Engineering, vol.45, s.375-392.
- [16] CARIDI, Maria, and SIANESI, Andrea, Multi-agent systems in production planning and control: An application to the scheduling of mixed-model assembly lines, International Journal of Production Economics, vol.68, s.29-42, 2000.
- [17] LIM, M. K., and ZHANG, Z., A multi-agent based manufacturing control strategy for responsive manufacturing, Journal of Materials Processing Technology, vol.139, s.379-384, 2003.
- [18] LE, Vu T., GUNN, Bruce M., and NAHAVANDI, Sacid, MRP-Production Planning In Agile Manufacturing, Second IEEE International Conference on Intelligent Systems, 2004.
- [19] KORKMAZ, M. Temel, Excel 2000 ile Programlama Visual Basic for Application Makrolar, 2001.
- [20] VOUDOURIS, Chris, and TSANG, Edward, Guided Local Search, Technical Report CSM-247, Department of Computer Science, University of Essex, 1995.
- [21] SACHDEV, Sanjay, Explorations in Asynchronous Teams, Doctor of Philosophy in Electrical And Computer Engineering, Carnegie Mellon University Pittsburgh, Pennsylvania, 1998.
- [22] DECHTER, Rina, Constraint Processing, San Francisco, Morgan Kaufmann Publishers, c2003.
- [23] Goldberg, D.E., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1989.
- [24] DENGİZ, Berna ve ALTIPARMAK, Fulya, Genetik Algoritmalar, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, vol.11, no.3, s.523-541, 1998.
- [25] GEN, Mitsuo, and CHENG, Runwei, Genetic Algorithms and Engineering Optimization, A Wiley-Interscience Publication, 2000.

## EKLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Ek 1 İşletmede Mevcut Duruma ilişkin Üretim Planı İş Akışı.....	72
Ek 2 Y.A.A. Algoritmalarının Akışları.....	73
Ek 3 Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 Yaklaşımları Hedeften Sapma Değerleri.....	75
Ek 4 GA Sonuçları.....	78
Ek 5 GA Sonuç Grafikleri.....	81
Ek 6 GA Yakınsama Grafikleri.....	86
Ek 7 Problem Setlerine İlişkin Veriler.....	92

## Ek 1 İşletmede Mevcut Duruma İlişkin Üretim Planı İş Akışı



## Ek 2 Y.A.A. Algoritmalarının Akışları

### Y.A.A.1 Algoritması

#### BAŞLA

Belirlenen ay için modeli oluştur;

Değişkenlere tamsayı koşulu vermeden modeli çöz;

Modelin çözümünü kaydet;

sabit\_değişkenler\_dizisi = 0;

Toplam üretim miktarı 1 olan traktör modellerinin tamsayılı çözümü sağlanıncaya kadar tekrarla;

{

#### Başla

Modelin çözümünde herhangi bir traktör modelinin günlük üretim miktarı sıfır ise bu traktör modelini bir sonraki modelde tamsayı koşulunu vermek üzere kaydet;

Bu traktör modelinin değerlerini belirleyerek yeni modeli oluştur;

Modeli çözdür ve modelin çözümünü kaydet;

sabit\_değişkenler\_dizisi 'ni güncelle;

#### Dur

}

Toplam üretim miktarı 1' den büyük olan traktör modellerinin tamsayılı çözümü sağlanıncaya kadar tekrarla;

{

#### Başla

Modelin çözümünde herhangi bir traktör modelini tamsayı koşulunu vermek üzere kaydet;

Bu traktör modelinin tim günlerine tamsayı koşulunu vererek yeni modeli oluştur;

Modeli çözdür ve modelin çözümünü kaydet;

sabit\_değişkenler\_dizisi 'ni güncelle;

#### Dur

}

#### DUR

## Y.A.A.2 Algoritması

### BAŞLA

Belirlenen ay için modeli oluştur;

Değişkenlere tamsayı koşulu vermeden modeli çöz;

Modelin çözümünü kaydet;

sabit\_değişkenler\_dizisi = 0;

Toplam üretim miktarı 1 olan traktör modellerinin tamsayılı çözümü sağlanıncaya kadar tekrarla;

#### { Başla

Modelin çözümünde herhangi bir traktör modelinin günlük üretim miktarı sıfır ise bu traktör modelini bir sonraki modelde tamsayı koşulunu vermek üzere kaydet;

Eğer herhangi bir traktör modelinin tüm günlere ilişkin değerleri tamsayı ise bu traktör modelinin değerlerini sabitlemek üzere kaydet;

Seçilen traktör model(ler)inin değerlerini belirleyerek yeni modeli oluştur;

Modeli çözdür ve modelin çözümünü kaydet;

sabit\_değişkenler\_dizisi 'ni güncelle;

#### Dur }

Toplam üretim miktarı 1' den büyük olan traktör modellerinin tamsayılı çözümü sağlanıncaya kadar tekrarla;

#### { Başla

Modelin çözümünde herhangi bir traktör modelini tamsayı koşulunu vermek üzere kaydet;

Eğer herhangi bir traktör modelinin tüm günlere ilişkin değerleri tamsayı ise bu traktör modelinin değerlerini sabitlemek üzere kaydet;

Seçilen traktör modelinden birincisinin tüm günlerine tamsayı koşulunu vererek, ikincisine ise çözümde belirlenmiş değerleri vererek yeni modeli oluştur;

Modeli çözdür ve modelin çözümünü kaydet;

sabit\_değişkenler\_dizisi 'ni güncelle;

#### Dur }

### DUR

**Ek 3 Y.A.A.1 ve Y.A.A.2 Yaklaşımları Hedeften Sapma Değerleri**

İTERASYON	Y.A.A.1	Y.A.A.2	İTERASYON	Y.A.A.1	Y.A.A.2
1	10	10	46	96	98
2	12	12	47	98	100
3	14	14	48	100	102
4	16	16	49	102	104
5	18	18	50	104	106
6	20	20	51	106	108
7	22	22	52	108	110
8	24	24	53	110	112
9	26	26	54	112	114
10	28	28	55	114	116
11	30	30	56	116	118
12	32	32	57	118	120
13	34	34	58	120	122
14	36	36	59	122	124
15	38	38	60	124	126
16	40	40	61	126	128
17	42	42	62	128	130
18	44	44	63	130	132
19	46	46	64	132	134
20	48	48	65	134	136
21	50	50	66	136	138
22	49.5	49.5	67	138	140
23	52	52	68	140	142
24	54	54	69	142	144
25	56	56	70	144	146
26	58	58	71	146	148
27	60	60	72	148	150
28	62	62	73	150	152
29	64	64	74	152	154
30	63.666667	66	75	154	156
31	66	68	76	156	158
32	68	70	77	158	160
33	70	72	78	160	162
34	72	74	79	162	164
35	74	76	80	162	166
36	76	78	81	164	166
37	78	80	82	166	168
38	80	82	83	168	170
39	82	84	84	170	172
40	84	86	85	172	174
41	86	88	86	174	176
42	88	90	87	176	178
43	90	92	88	178	180
44	92	94	89	180	182
45	94	96	90	182	184

İTERASYON	Y.A.A.1	Y.A.A.2	İTERASYON	Y.A.A.1	Y.A.A.2
91	184	186	138	276	282
92	186	188	139	278	284
93	188	190	140	280	284
94	190	192	141	282	286
95	192	194	142	284	288
96	194	196	143	283.5	289.3333
97	196	198	144	285.5	291.3333
98	198	200	145	287.5	293.3333
99	200	202	146	289.5	294.6667
100	202	204	147	291.5	296.6667
101	204	206	148	293.5	298
102	206	208	149	295.5	300
103	208	210	150	297.5	302
104	210	212	151	299.5	304
105	212	211.5	152	301.5	306
106	214	214	153	303.5	308
107	216	216	154	305.5	310
108	218	218	155	307.5	312
109	220	220	156	309.5	314
110	222	222	157	311.5	316
111	224	224	158	313.5	318
112	226	226	159	313	320
113	228	228	160	315	322
114	230	230	161	317.3333	324
115	232	232	162	320	325.7806
116	234	234	163	321	326.4444
117	236	236	164	322	328.5
118	236	238	165	324	330
119	238	240	166	326	330
120	240	240.125	167	326	330
121	242	242	168	328	332
122	244	244	169	330	334
123	246	246	170	329.6667	334.125
124	248	250	171	332	336
125	250	252	172	333	339
126	252	254	173	333	340
127	254	256	174	335	342
128	256	257.5	175	337	344
129	258	262	176	337.75	346
130	260	264	177	340	346
131	262	266	178	342	346.1667
132	264	268	179	344	348
133	266	270	180	346	350
134	268	272	181	346	352
135	270	274	182	348	354
136	272	275.5	183	350	356
137	274	277.5	184	350.25	358





## Ek 4 GA Sonuçları

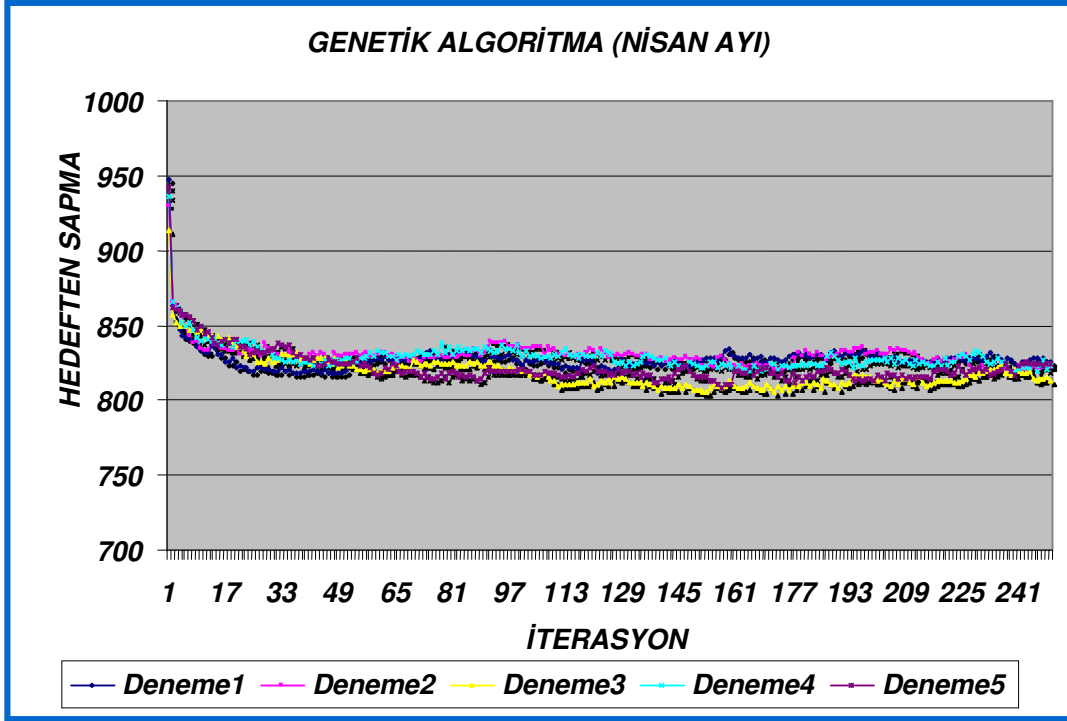
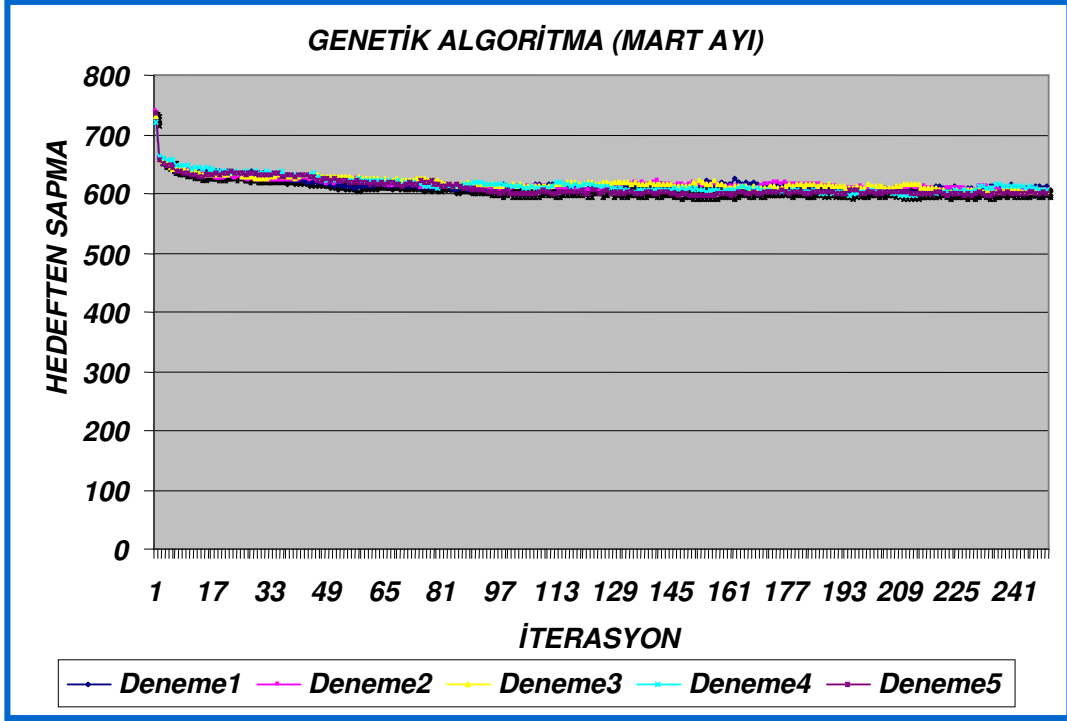
### Ocak Ayı Verileri

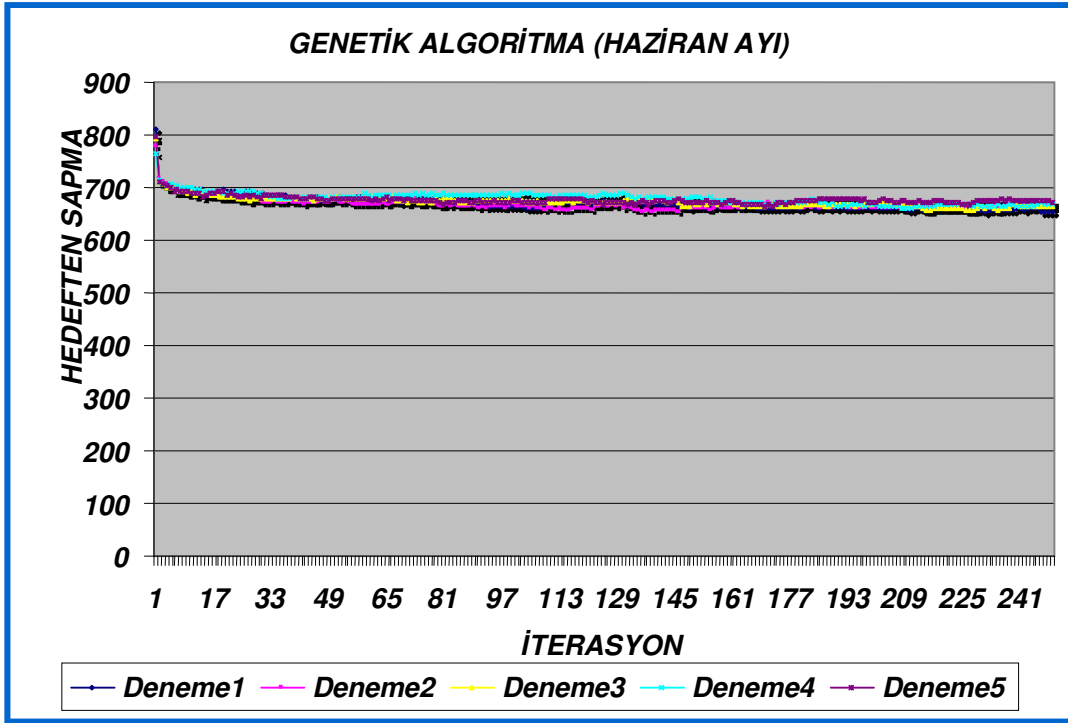
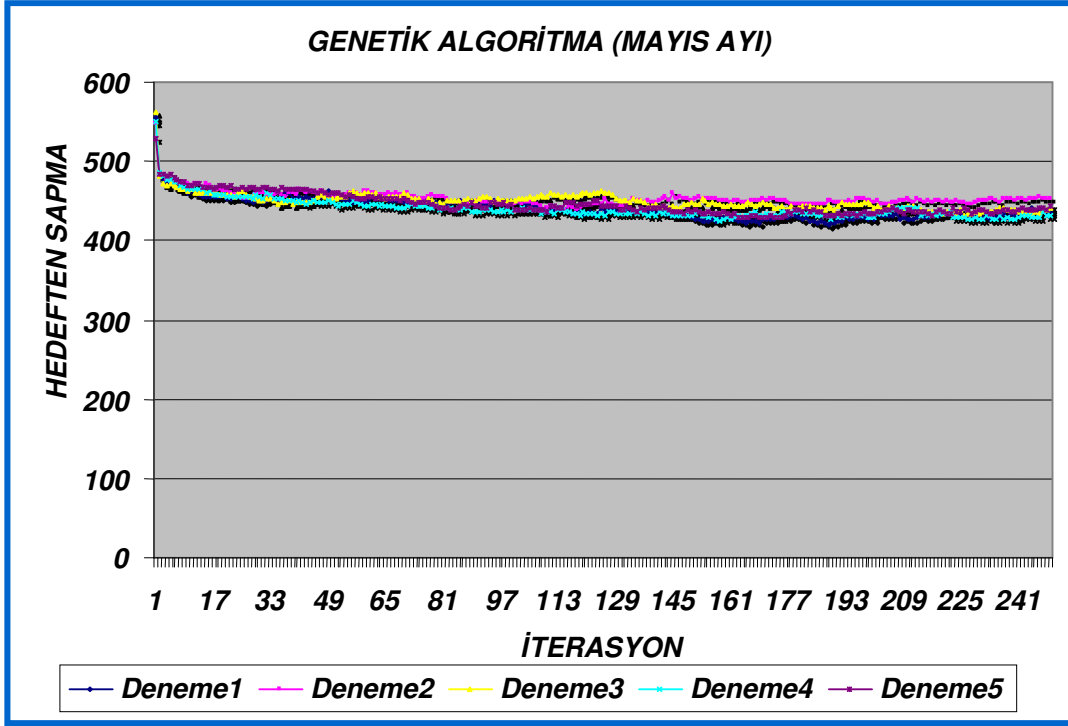
	D1	D2	D3	D4	D5		D1	D2	D3	D4	D5
1	835.6	840.1	848	844.2	839	52	778.1	783	777.4	774	779.1
2	798.7	807.6	805.4	802.5	801	53	780.3	783.1	774	776.1	778.9
3	795.3	805.2	792.6	798.6	799.9	54	776.9	781.5	777.2	776.1	782
4	792.5	800.7	791.9	797	797.8	55	780.2	785	771.6	774.8	781.8
5	788.1	795.7	788.3	795.4	797	56	775.3	784.6	771.9	773.7	775.5
6	789.6	796.4	786.6	798.1	794.5	57	775.9	785.3	777.4	774.7	775.8
7	787.5	794.9	788.2	794.4	794.9	58	776.9	785.3	778.1	774.4	776.2
8	787.1	789.8	787.3	794.9	792.4	59	774.8	786.2	776	774	779.1
9	784.9	791.4	784.8	792.2	792.9	60	777	786.9	775	773.4	776.4
10	781.6	790.2	783.3	790.8	794.9	61	781.6	782.5	774.7	773.6	774.4
11	782.1	788.6	784.2	793.8	797.2	62	785.1	779	776	774.7	774.1
12	782.5	788.2	784.5	793.2	798.4	63	783.6	777.3	774.5	774.2	772.4
13	779.4	790.1	784.8	791.4	794.6	64	782	781.5	775.5	773.8	774.5
14	782	789.1	784.2	784.9	793.2	65	780.8	781.5	773	773.3	770.7
15	781.5	791.4	783	783	790.5	66	781.7	779	772.8	777.6	771.5
16	783.8	789.6	782.1	783.1	789.9	67	780.8	778	772.1	777.8	772.1
17	784.1	790.7	783.2	780.5	788.9	68	778.5	779.8	772.7	779.4	771.4
18	781.8	790.4	783.5	780.8	787.6	69	777.2	780.4	770.7	778.5	769.1
19	781.4	787.3	783.6	781	786.6	70	779.5	781	771.4	777.2	770.3
20	779.2	786.3	784.8	782.4	784.9	71	777.6	781.4	773.5	774.7	773.1
21	779.5	780.9	783.9	781.7	786.4	72	777	781.9	772.9	771.8	773.9
22	776.6	781.1	784	781.4	783.6	73	776.7	779.3	774.4	771.8	773
23	778.9	781.5	780.6	780.7	784.6	74	778.6	782.5	773.2	772.4	773.3
24	776.8	781.1	780.3	782.1	785.2	75	777.5	780.4	775.3	773.5	774.2
25	778	785.2	776.7	780.9	785.2	76	777.8	781.3	773.8	770.1	773.1
26	779.5	787	776	781.4	784	77	779.1	780.3	773.1	772.2	772.7
27	781.4	786.5	776.3	775.8	785	78	779.8	776.9	770.6	773.9	775.9
28	783.3	786.6	776.3	778.9	783.3	79	777.3	778.1	773.7	775.2	777.3
29	780.3	784.5	776.7	778.5	780.7	80	778.1	778.8	773.4	770	776.7
30	783.1	789.9	777.6	778.3	784.7	81	778.5	779.2	775.9	767.6	775.3
31	783.5	789.5	776.4	779.1	780.8	82	778.1	778	775.8	767.1	775.2
32	783.5	787.9	774.5	777.4	782.7	83	778.1	779.7	778.2	766	774.6
33	780.1	788.5	778.4	778	782	84	778.5	776.4	778.3	769.7	775.3
34	781.5	779.6	777.5	776.9	784	85	776.4	778.3	775.3	772.6	775.7
35	778.4	778.7	780.1	773.7	784.4	86	779.3	776.7	774.7	768.2	775.9
36	780.3	779.5	779.6	774	781.5	87	778.2	777.5	776.2	769.2	773.5
37	780.5	781.1	776.7	772.8	781	88	782.1	780.5	778.1	766.6	774
38	780.7	778.3	781.6	773.3	783.4	89	777.3	779	778.5	774.1	773.6
39	783.3	777.4	778.6	773.5	783.3	90	779.6	781.6	782.3	770.9	774
40	787.5	779.6	777.8	776.5	782.1	91	779.9	777.6	779.9	775.1	771.3
41	782.8	778.6	775.4	775.2	781.3	92	775.7	777.3	777.6	771.3	771.2
42	777.7	778.9	777.6	775.9	782.2	93	775.3	776.2	778.5	771.6	770.5
43	778.6	780.5	777.5	776.9	785.4	94	776.4	776.6	779.7	768.8	773.6
44	776.3	777.1	779.3	775	780.8	95	775.2	776.2	775.9	771.9	770.8
45	774.2	778.3	779.7	776	780.4	96	775.6	776.6	776.2	769.9	772.6
46	770.6	784.1	780	778.9	777.2	97	773.9	777.4	776.6	768.6	774.2
47	770.9	781.5	779.6	775.7	780.3	98	772.8	775.7	776.6	768.6	775.4
48	769.7	783.9	779.2	774.6	778.2	99	775.5	779.6	775.1	767.3	774.3
49	775.5	780.4	781.1	775	778	100	773.5	778.6	776.2	770.1	775.7
50	778.1	785.6	782.6	773.2	776.6	101	773.5	778.5	776.8	768.4	770.4
51	777.5	782.6	781.4	774	777.1	102	771.9	778.6	776.1	773	768.8

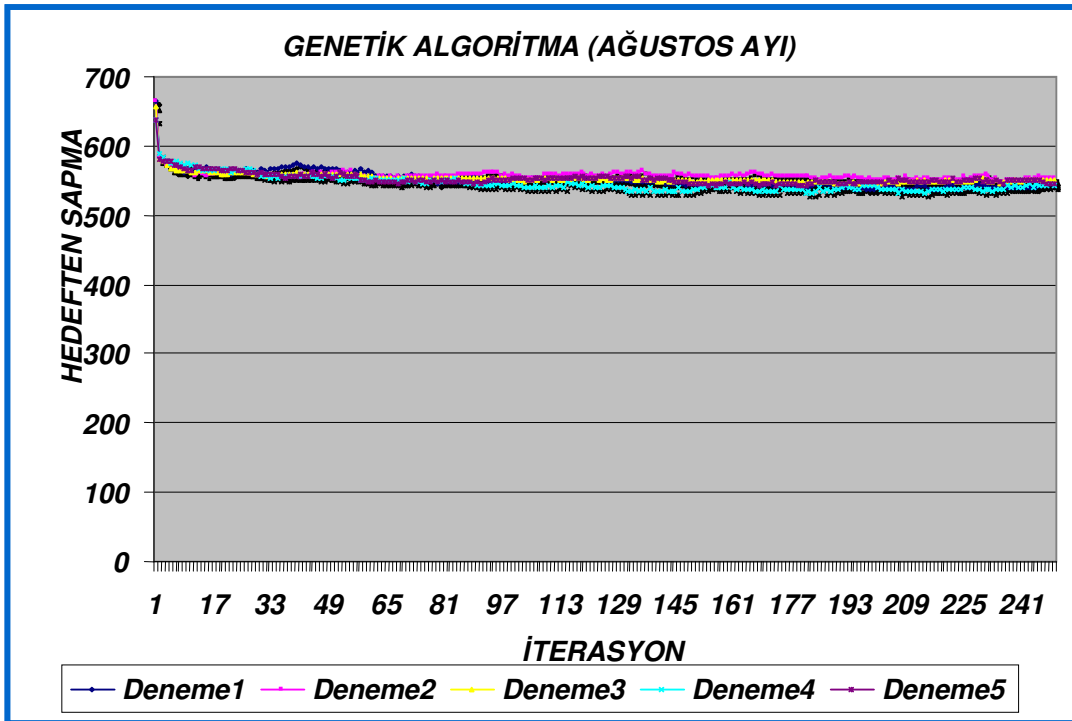
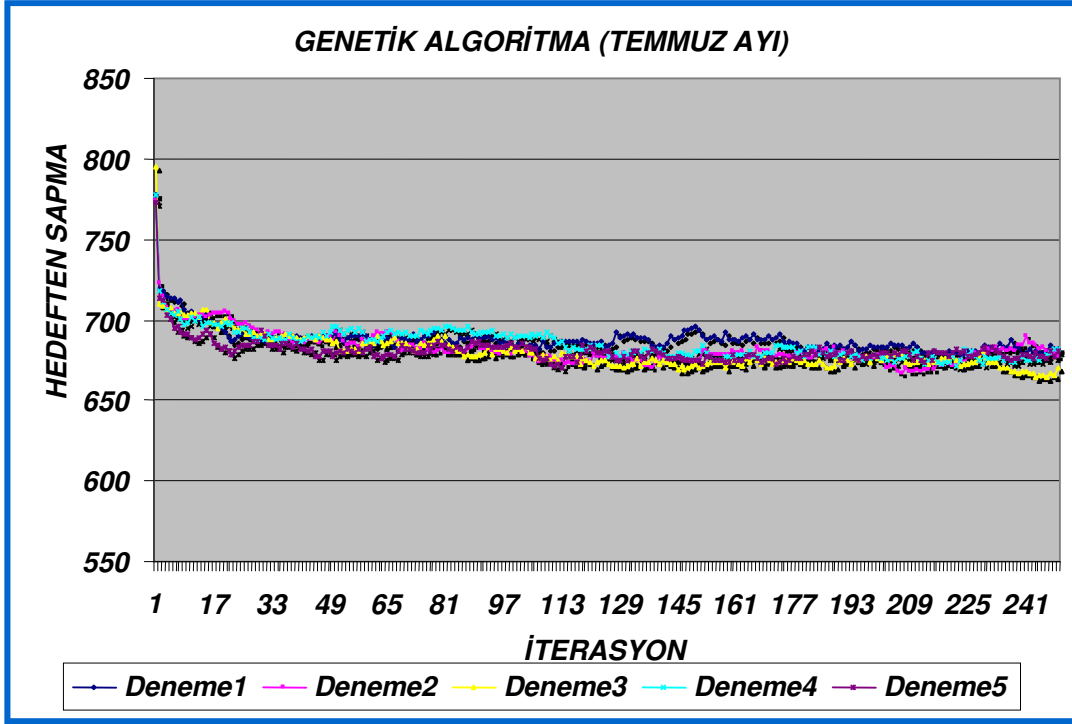
	D1	D2	D3	D4	D5		D1	D2	D3	D4	D5
103	771	779.4	778	768.9	771.4	157	774.9	774.6	778.6	772.6	769.2
104	776.9	779.3	775.7	771.4	771	158	776	773.9	777.8	776.8	771.1
105	772.8	780.8	774.8	777.6	770.2	159	774.1	773	777.2	775.1	770.7
106	774.8	778.3	776.3	774.9	771	160	776.7	772.7	776.8	779.4	774.8
107	773.1	783.1	779.1	774.6	768.9	161	776.1	774.3	775.3	778.1	774.4
108	775.8	777.9	781	774.2	769.2	162	775.2	774.2	775.1	778.6	771.2
109	774	781.1	782.7	775.6	770.2	163	776.2	775.1	772.6	778	770.3
110	773.7	777.9	783.3	773.7	771.1	164	773	777	773.1	775.2	768.5
111	773.9	783.1	776.8	775	775.4	165	776.2	772	777.4	776.2	772.7
112	772.5	779.9	779.3	777.1	774.1	166	774.5	772.1	775.5	776.2	769.8
113	771.8	779.1	778	772.6	772.3	167	776.9	774.6	776.4	776.7	770.7
114	774.7	774.5	779.8	772.7	773.2	168	777	774.6	775.8	774.7	770.3
115	772.5	782.2	780.8	773.3	773.3	169	776.6	777	778.9	774.1	769.4
116	770.8	779.1	780	773.6	773	170	776	777.6	780.2	773.8	770.2
117	776.6	778.5	776.7	774.6	773.2	171	774.1	776.8	776	774.5	770.5
118	775.9	778.4	780.3	773.6	769.4	172	776.7	773.3	780.7	777.5	769.3
119	777.9	776.6	777.7	771.8	770.9	173	776.5	774.2	779.6	776.7	769.6
120	778.8	779.1	777.7	773.9	769.7	174	776.6	772.8	778.9	778.1	769.6
121	775.2	778.4	776.2	772.2	773.8	175	775.9	771.8	777	778.8	773.2
122	774.1	777.9	779.9	771.7	772.4	176	777.4	773.6	779.5	774.5	775.6
123	773.9	779.7	775.2	772.2	775.5	177	775.4	772.1	777.5	773.8	773.4
124	773.1	780.1	774.6	771.5	773.2	178	774.9	771.8	776.5	774	777.2
125	772.9	777.8	775.9	771.1	775.4	179	776.2	772	778.9	774.6	777.2
126	773.8	784	777.5	772.5	773.3	180	777	772.7	777	772.7	777.5
127	773.8	780.7	775	772.6	773	181	775.9	771.7	777.1	775.7	773.9
128	772.9	783.6	779.3	772.3	771.3	182	775.1	774	777.2	778	773.7
129	777.1	776.9	776	772.8	773.9	183	777.2	773.4	776.7	777.2	774.9
130	771.6	778	776	774.3	771.9	184	779.9	773.3	773.5	776.6	772.8
131	770.6	776.9	773.1	773	770.6	185	774.6	771.5	773.2	778.6	773.8
132	771.4	777	774.8	771	771.8	186	778.5	775.8	772.6	781.2	773
133	772.8	774.4	772.1	772.4	772	187	775	771.3	776.9	776.5	773.4
134	772.6	775.6	773.3	771.6	773	188	775.6	771.8	776	777.4	774.5
135	772.7	777.1	776.8	771.7	772.5	189	778	772.4	775.3	778.4	775
136	771.2	774.6	774.7	769.6	773	190	775.7	771.2	773.1	780.4	776.9
137	771.6	773.5	772	771.2	772.1	191	775.2	774.5	774.7	777.1	774.2
138	772.9	776.5	778.6	771	771.9	192	775.7	772.6	774.2	776.4	773.1
139	772.6	775.9	777.2	770.8	770.8	193	779.8	772	773.8	777.6	774.5
140	771.4	777.8	777.2	774.5	772.7	194	779.2	770.7	774.5	776.2	771.2
141	775.1	775.8	779.5	776.8	774	195	776.8	771.8	774.6	779.2	773.4
142	774	776	776.2	775.9	770.7	196	776.4	773	774.7	779	777.3
143	772.7	775.8	774.2	774.4	769.8	197	775.4	774.7	775.1	779.9	776.3
144	774.5	776.4	775.3	772.5	771.2	198	775	772.6	774.6	779.9	775.4
145	773.8	776.2	776.5	772.3	768	199	777.8	774.4	774.2	779.2	776.9
146	773.4	777.1	775.3	771.5	766.5	200	774.1	773.5	776.3	778.1	779
147	773.2	774.5	776.5	773.2	768.4	201	777.2	776.2	776.5	778	775.8
148	774.4	778	779	775.4	768.2	202	774.7	776.8	777.4	779.2	776.8
149	774.8	776.6	774.3	771.4	771.2	203	774.2	777.2	778.2	775.3	775.9
150	773.7	774	776.7	773.9	767.3	204	775.1	777.2	782.8	776.5	779
151	773.3	778.1	775.4	773.5	768.2	205	776.8	778.5	781.1	781.3	777.6
152	774.1	777.7	774.6	778.6	768.2	206	773.5	778.1	779.5	779.4	773.7
153	774.6	774.2	776.5	774.9	768.6	207	775.2	777.8	778.2	778.1	775.6
154	774.1	776.4	776	776.1	769.6	208	775.9	780.1	780.2	773.9	774.6
155	774.3	773.8	776.9	776.7	766.8	209	775	776.6	781.3	773.6	776.5
156	773.6	773	780.5	774.8	771.7	210	779.1	777.9	779.3	775.1	776.7

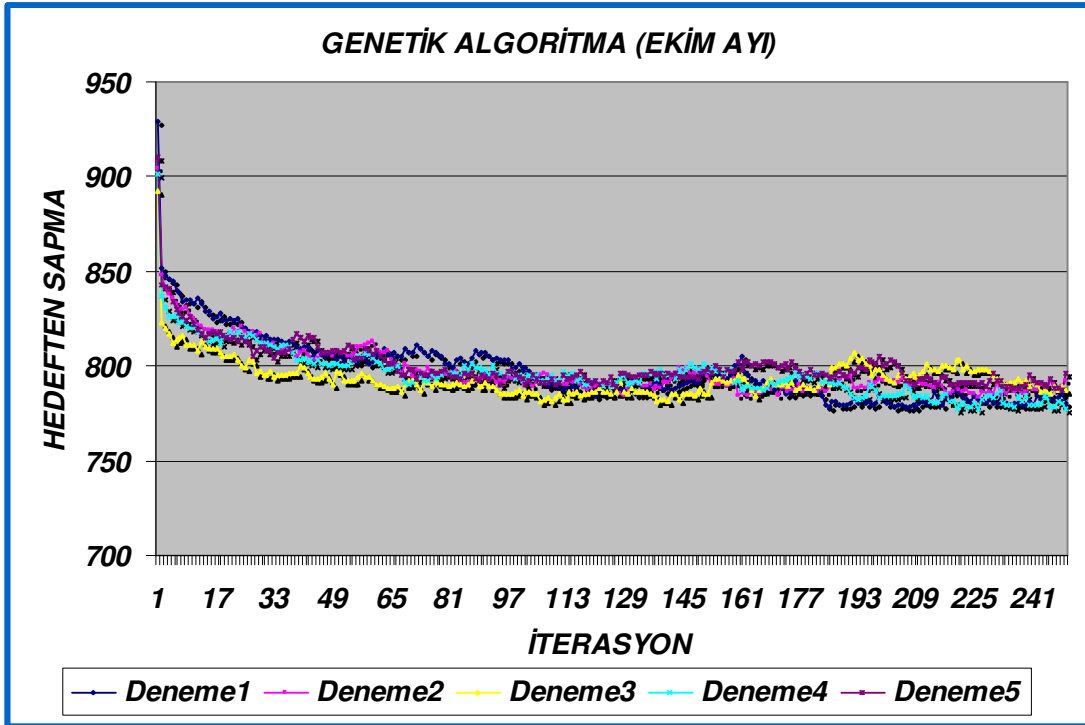
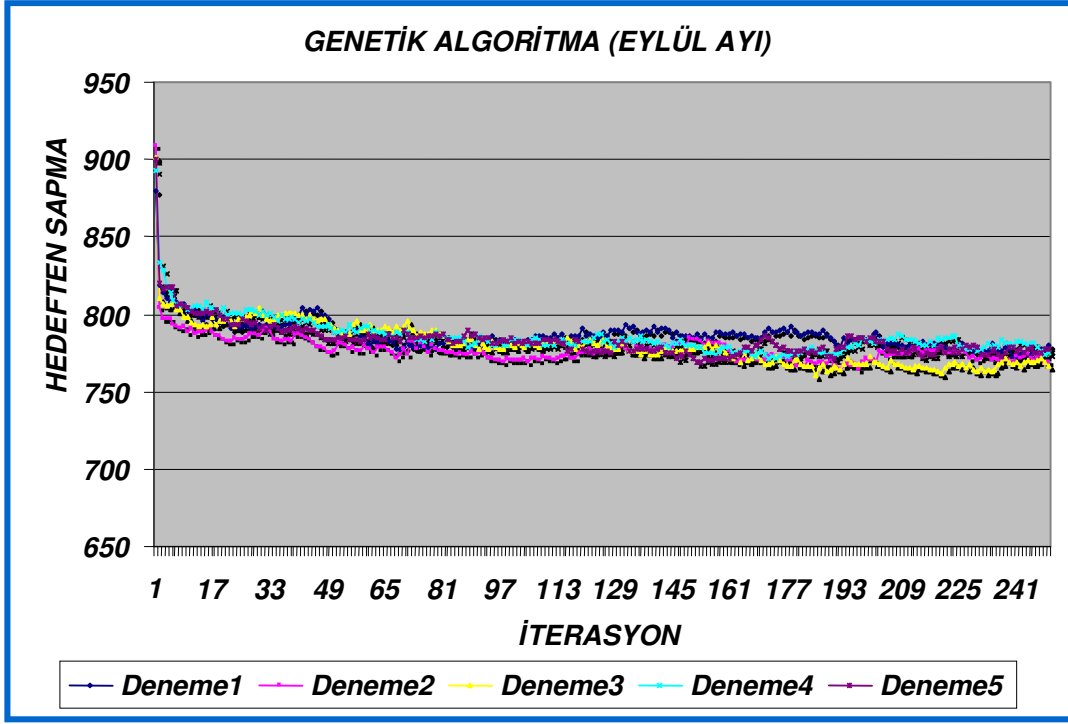
	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>
<b>211</b>	783.2	776.3	781.3	777.3	775.2
<b>212</b>	781.4	775.6	783	778.7	775.1
<b>213</b>	785.5	776.1	782.7	774.4	774.7
<b>214</b>	784.2	775.6	785.4	778.2	776.7
<b>215</b>	781.5	775.7	783.2	776.3	775
<b>216</b>	781.3	776.6	782.4	775.5	776.7
<b>217</b>	782.6	775.2	776.8	774.2	775.9
<b>218</b>	782	776.4	774	778.1	778
<b>219</b>	784.1	776.4	773.5	773.1	777.3
<b>220</b>	780.1	773.6	773.5	771.3	773.1
<b>221</b>	780.9	775.3	773.6	772.8	771.2
<b>222</b>	783.2	773.9	773	770	771
<b>223</b>	784	776.4	774.8	770.6	773.8
<b>224</b>	789.8	777.5	773.3	769.5	772.1
<b>225</b>	788.6	777	774.6	768.9	771.9
<b>226</b>	787.1	775.9	775.6	769.6	772.5
<b>227</b>	787.1	776.9	775.3	770.9	773.4
<b>228</b>	786.7	775.6	776.8	772.6	777.7
<b>229</b>	786.8	774.8	778	771.4	779.3
<b>230</b>	787.4	775.7	773.7	770.9	779.7
<b>231</b>	790	779.3	773.8	771	776.9
<b>232</b>	789.2	778.4	773.3	769.8	777.6
<b>233</b>	789.5	782.4	775	772.4	778
<b>234</b>	783	781.8	773.7	773.4	774.9
<b>235</b>	786.8	781.5	775.8	776.8	772.2
<b>236</b>	784.7	781.8	773.6	775	772.6
<b>237</b>	782.7	782.6	777.8	771.8	771.6
<b>238</b>	784.9	778.9	774.9	775.1	771.2
<b>239</b>	783.8	779.4	776.9	775.4	771.2
<b>240</b>	784.3	778	775.7	772.9	773
<b>241</b>	784.6	778.6	774.3	770.2	771.4
<b>242</b>	783.7	778.2	774.6	771	772.8
<b>243</b>	781.2	776.8	777.5	772.7	768.9
<b>244</b>	781.4	775.1	774.3	772.2	771.4
<b>245</b>	782.8	781.1	775.2	774.4	769.2
<b>246</b>	781.8	782.9	777	773.4	770.7
<b>247</b>	782.2	781.3	776	772.6	770.1
<b>248</b>	780.9	780.6	779.4	771.4	771.8
<b>249</b>	784.2	779	777.6	774.2	769.3
<b>250</b>	784.4	780.2	779.1	780.8	772.8

## Ek 5 GA Sonuç Grafikleri

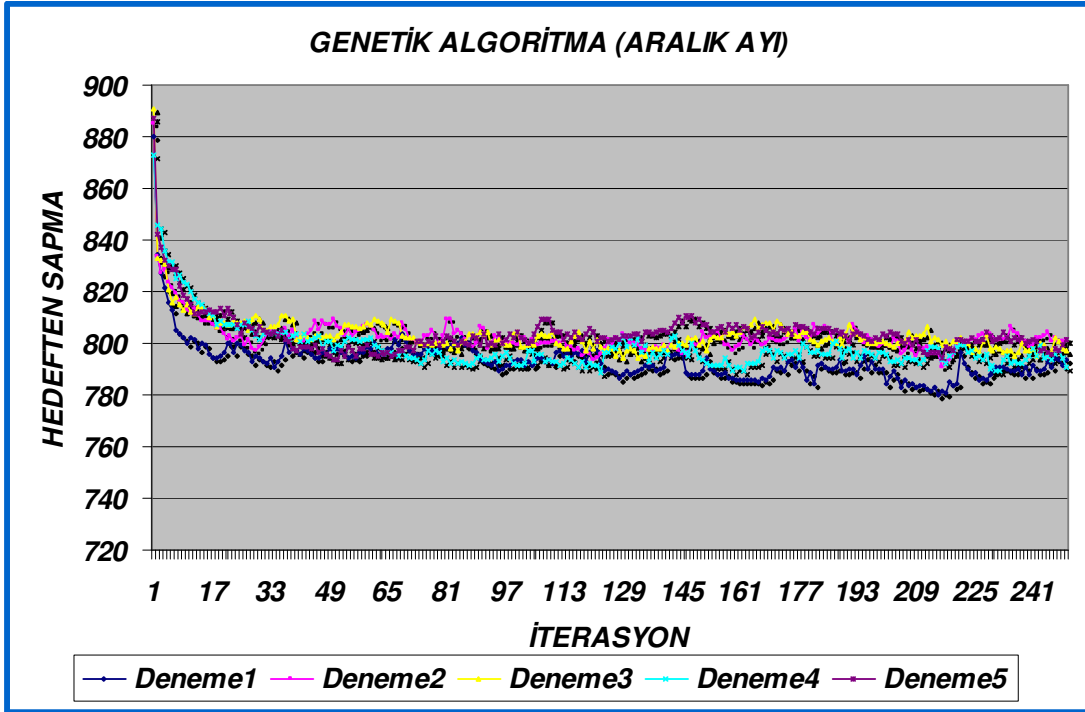
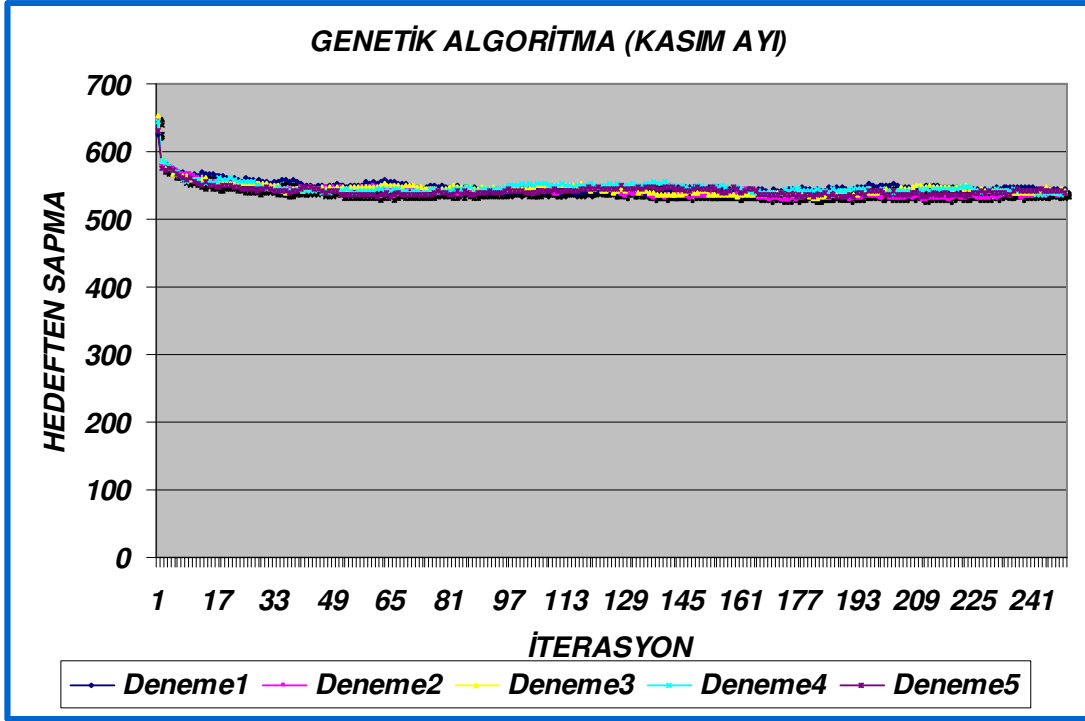




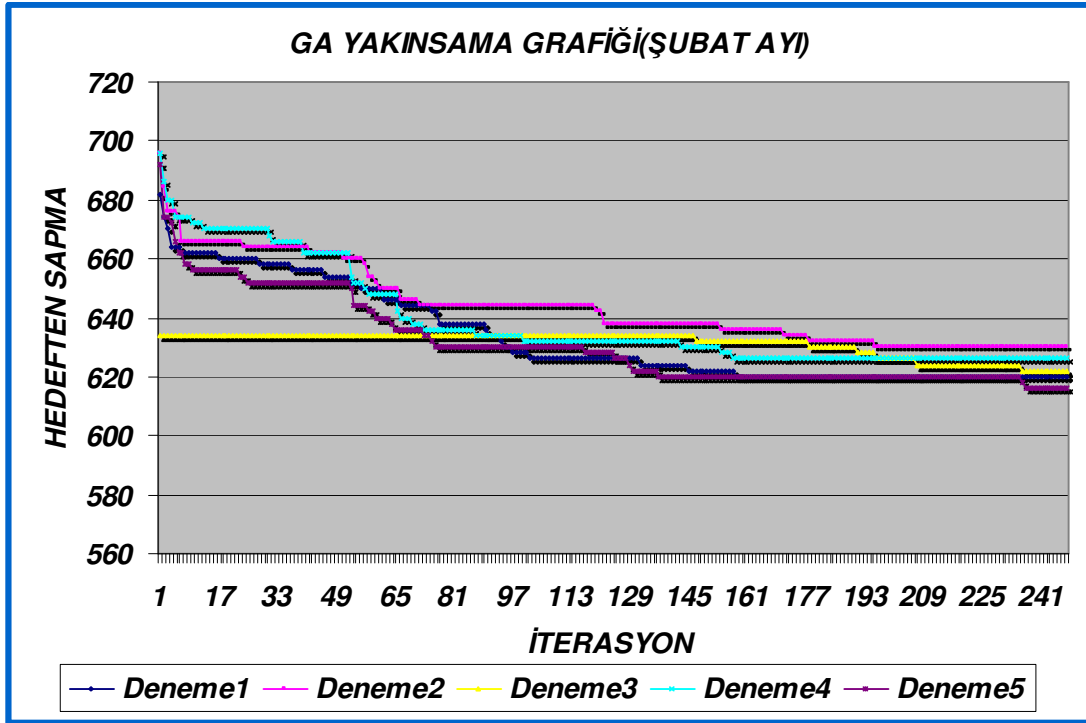
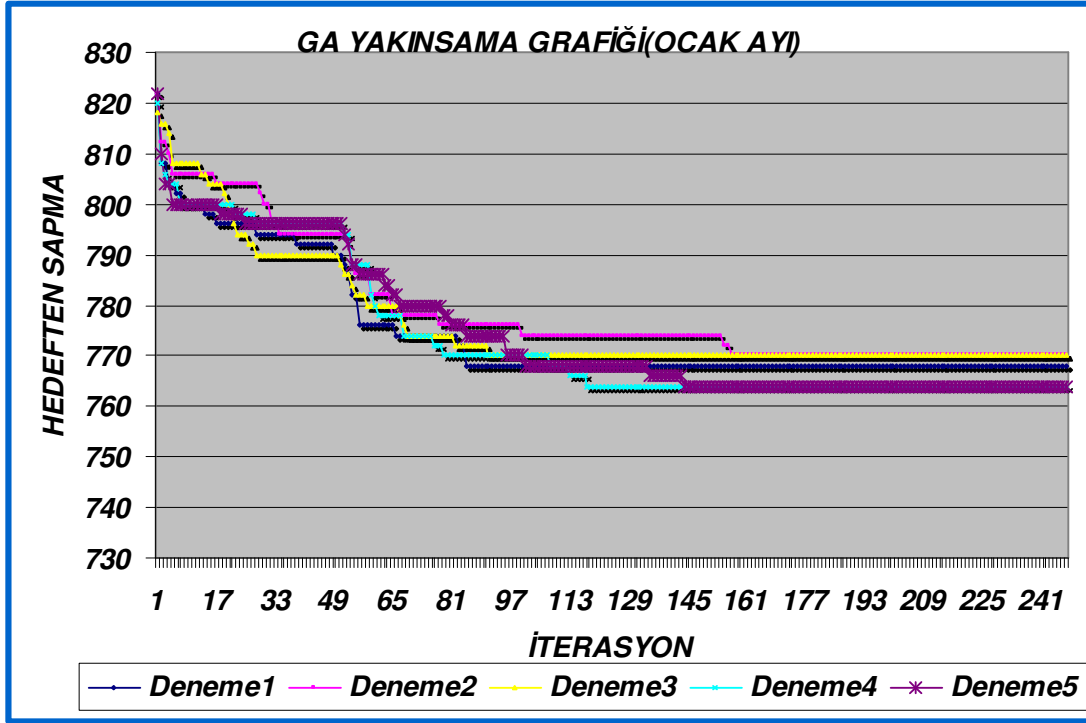


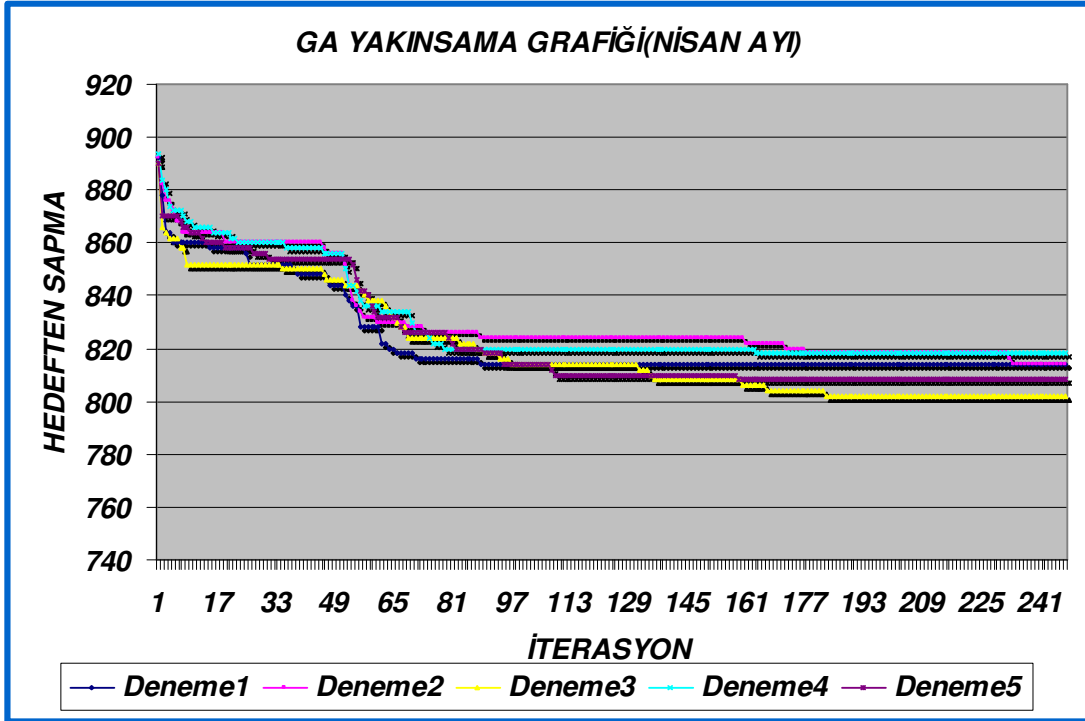
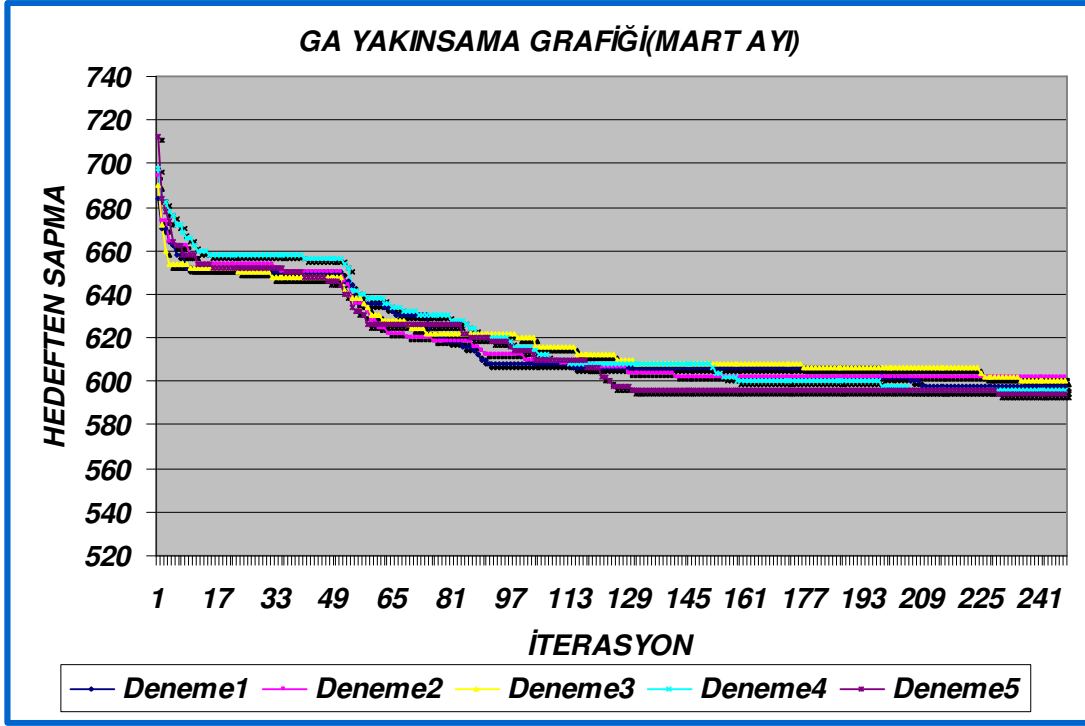


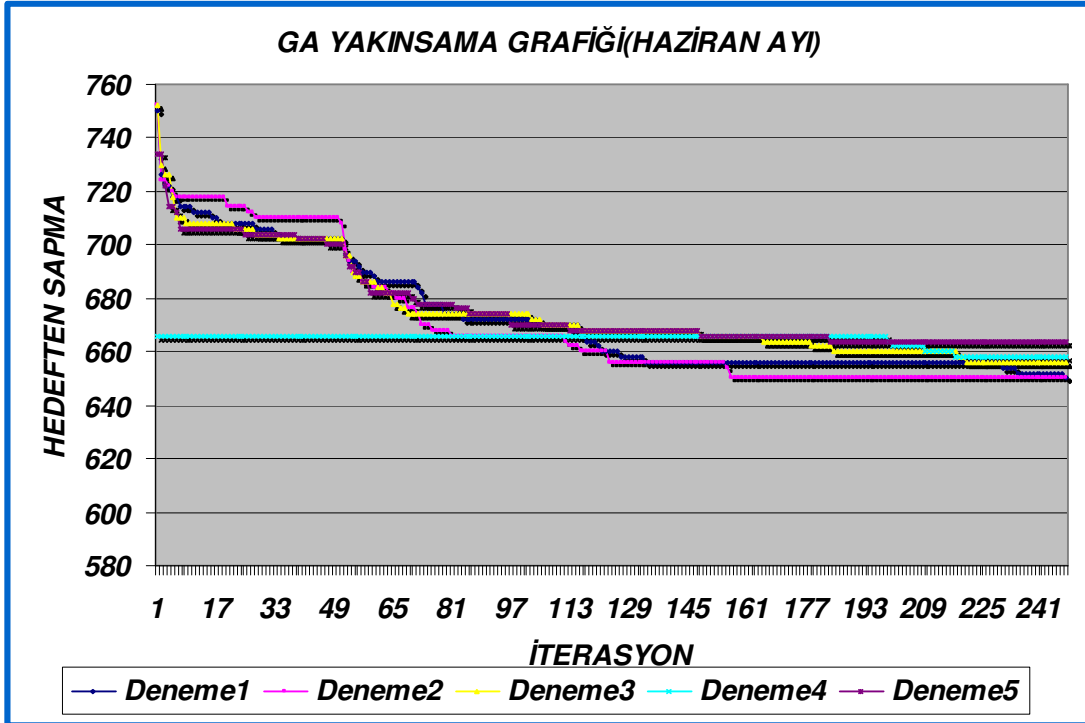
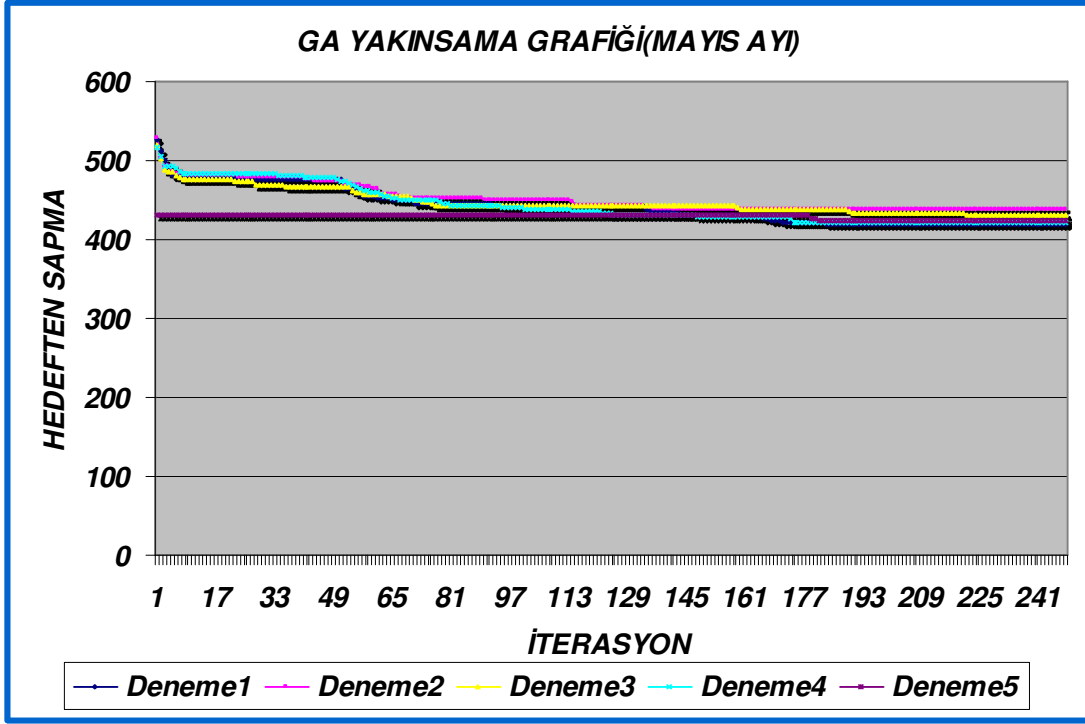


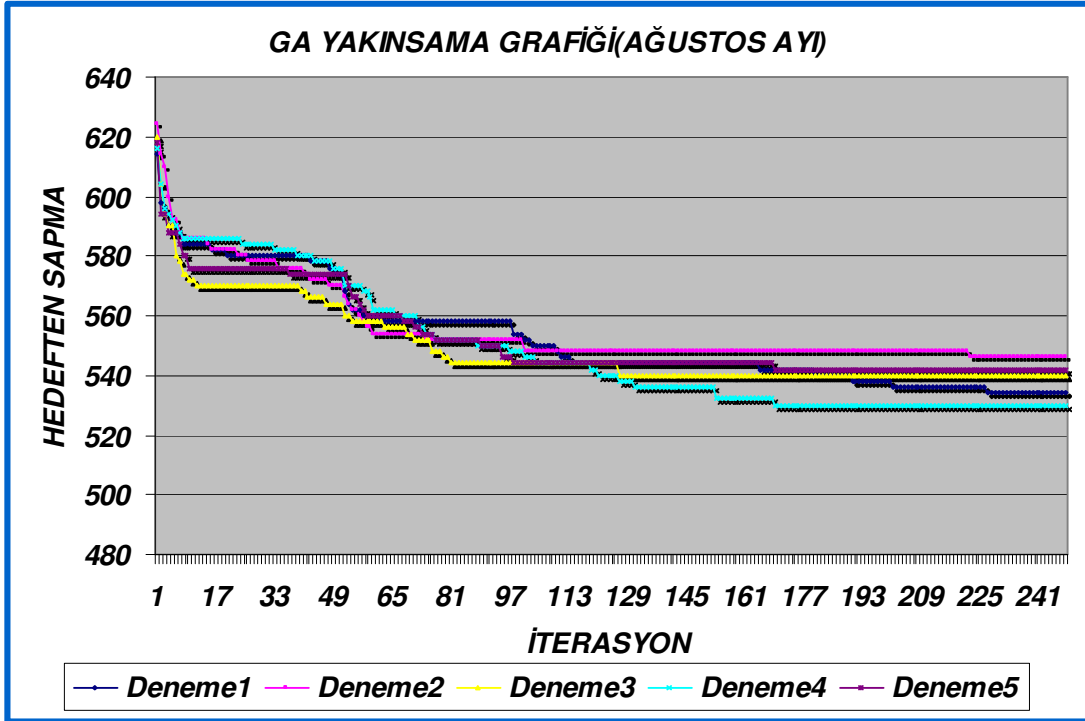
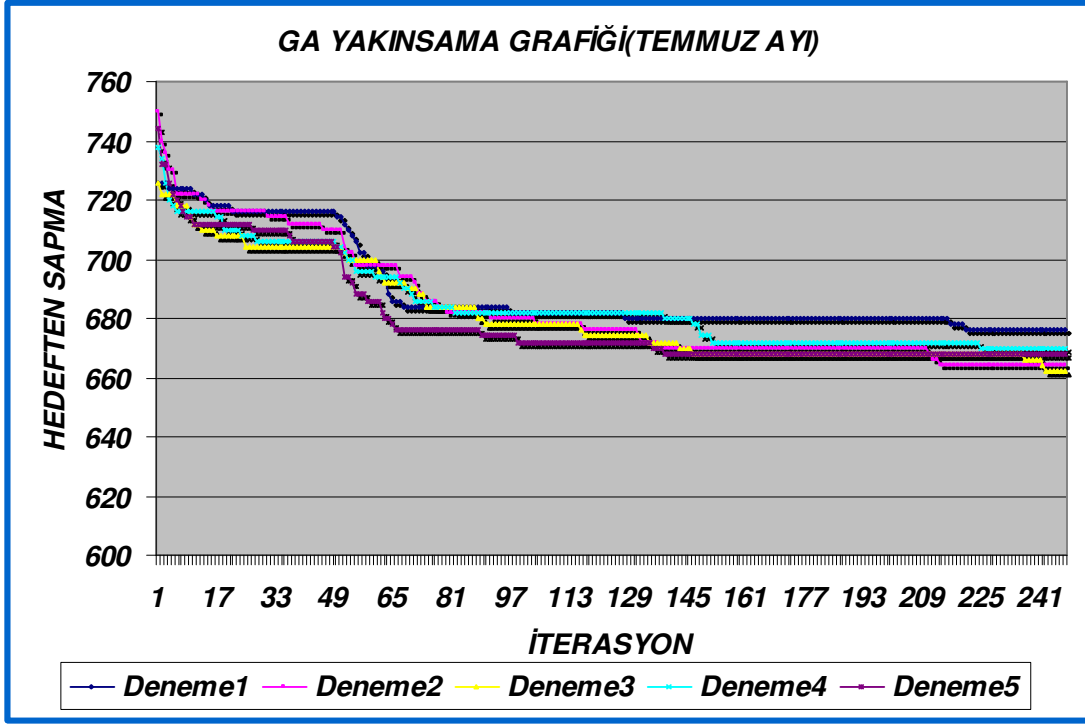


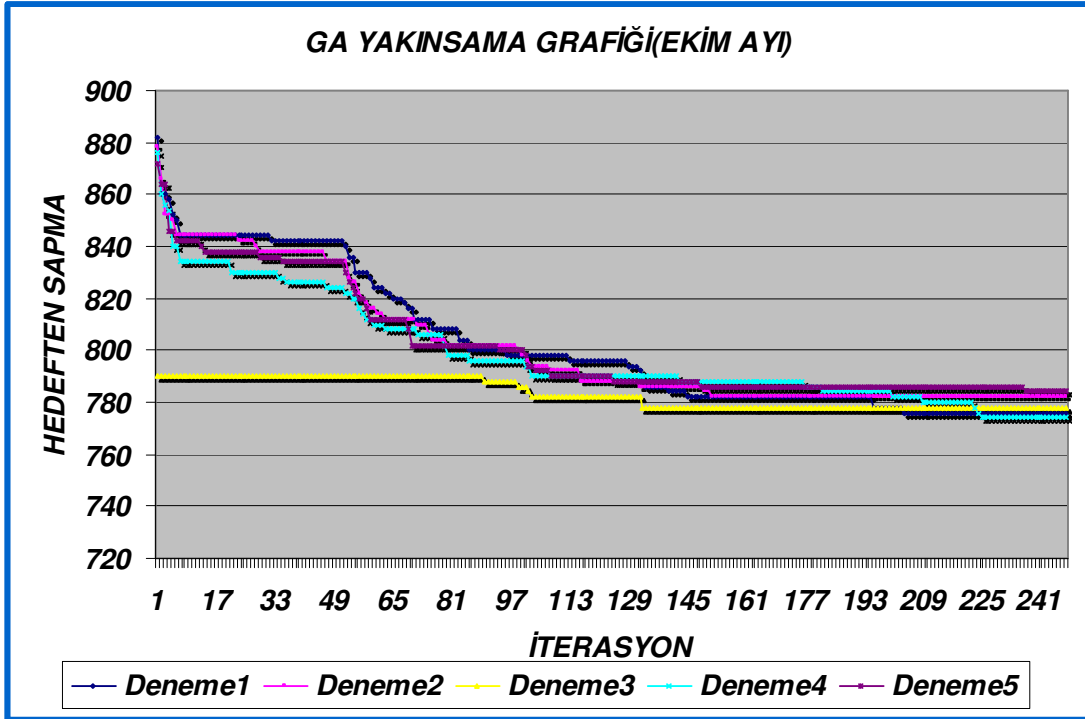
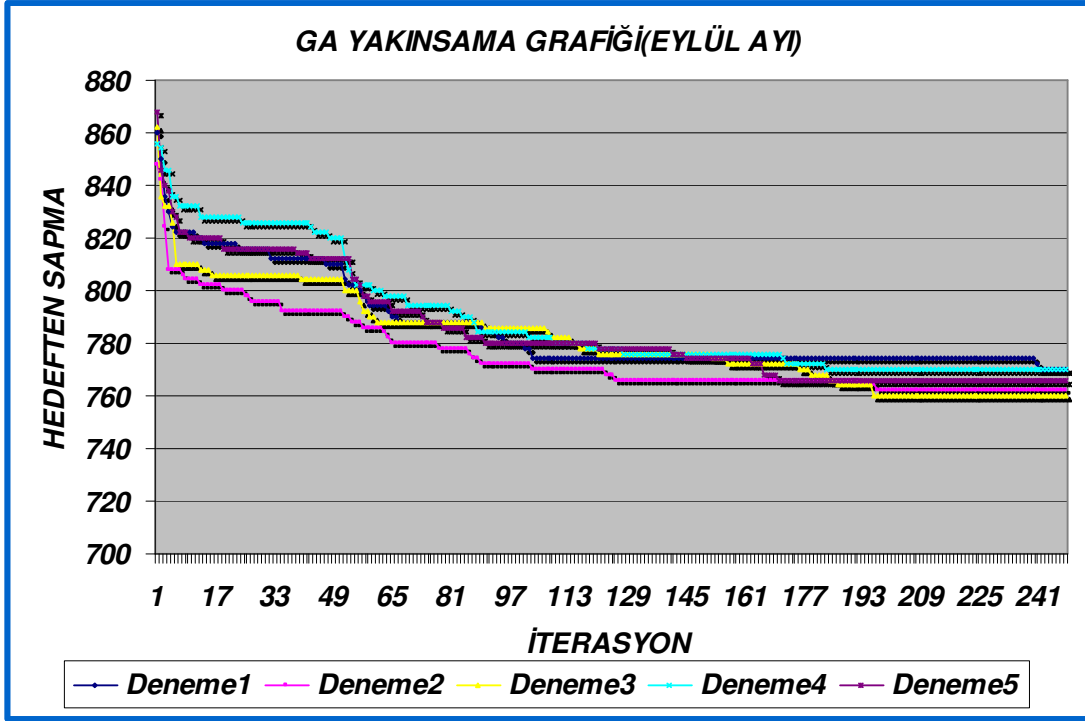
## Ek 6 GA Yakınsama Grafikleri

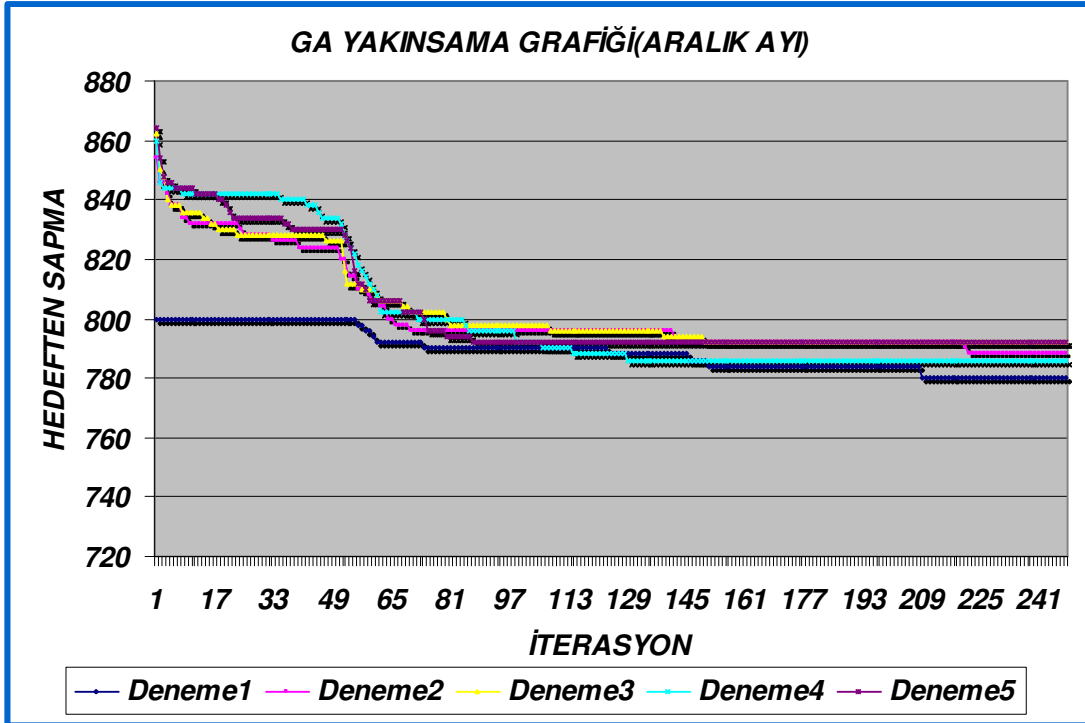
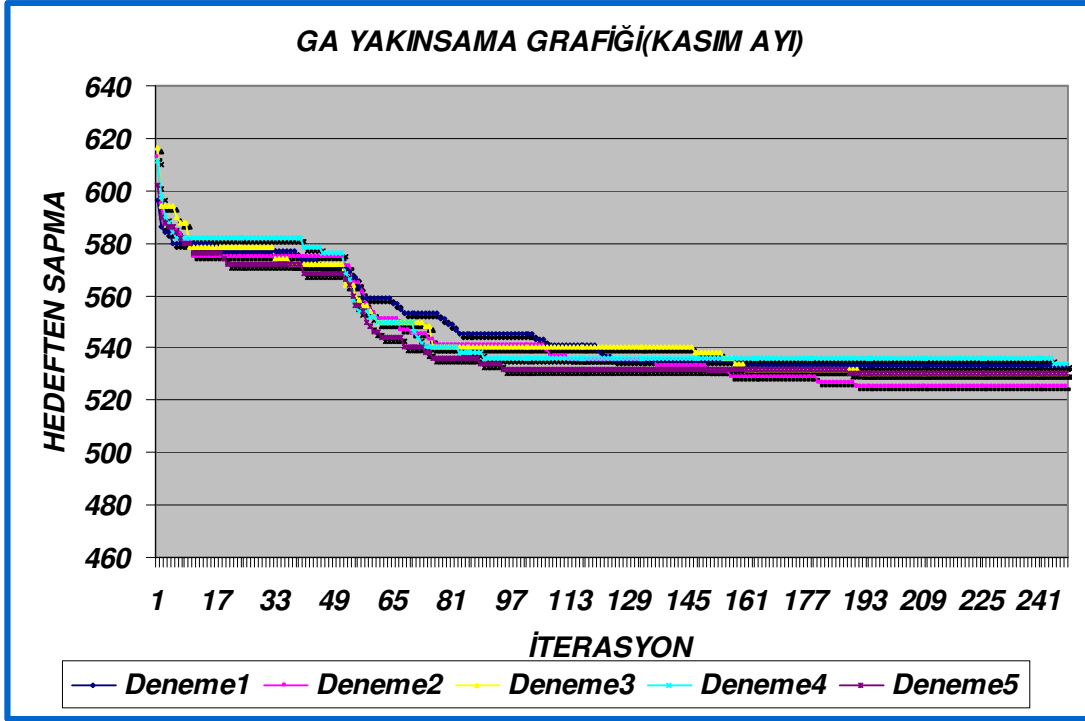












## Ek 7 Problem Setlerine İlişkin Veriler

<b>AYLAR</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>Yerli Traktör Miktarı</b>	507	1015	1129	1415	1447	1473	1378	1147	1332	1089	994	467
<b>Yabancı Traktör Miktarı</b>	593	285	251	370	163	287	302	233	348	341	216	373
<b>Günlük Ropslu Traktör Miktarı</b>	11	10	9	12	9	11	10	7	11	12	8	12
<b>Günlük Traktör Miktarı</b>	40	65	60	85	70	80	80	60	80	65	55	40
<b>Toplam Çalışma Günü</b>	22	20	23	21	23	22	21	23	21	22	22	21
<b>Toplam Model Sayısı</b>	403	334	310	428	218	341	346	276	402	411	273	415
<b>Toplam 56 Serisi Traktör Miktarı</b>	396	760	865	1135	1195	1210	1200	1080	1125	760	905	375
<b>Toplam 66 Serisi Traktör Miktarı</b>	484	540	515	650	415	550	480	300	555	670	305	670