

MONTAJ ALANI İŞ DAĞILIMI PROBLEMLERİ İÇİN AMAÇ PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI

Bahar ÖZYÖRÜK ve M. Bilgehan AKGÜN*

Endüstri Mühendisliği Bölümü, Müh. ve Mim. Fak., Gazi Üniversitesi, 06570 Maltepe/Ankara

* Endüstri Mühendisliği Bölümü, Müh. Fak., Kırıkkale Üniversitesi, 71454 Kırıkkale

bahar@gazi.edu.tr, mbakgun@kku.edu.tr

(Geliş/Received: 26.11.2007 ; Kabul/Accepted: 06.11.2008)

ÖZET

Gerçek hayatta sistemler birden fazla ve genellikle birbirleriyle çatışan amaçlara sahiptir. Uçak sanayinde sıfır hata ve zamanında teslimat faktörleri güvenlik ve prestij için önemlidirler. Ancak zamanında teslimat için hızlı ve yoğun bir şekilde yapılan üretimin hata oranlarını artıracakları açıktır. Bu nedenle çalışmamızda bu faktörleri göz önüne alarak hava aracı imal eden bir fabrikada sadece üretilen parçaların montajı için kurulmuş montaj alanındaki alternatif montaj hücrelerine iş dağılımı problemi çözülmeye çalışılmıştır. Problem çözümünde çatışan amaçları aynı anda değerlendirerek etkin çözüm bulan amaç programlama tekniği kullanılmıştır. Bu teknikle sıfır hata ve zamanında teslimat faktörlerinin maliyetleri göz ardı etmeden aynı anda sağlanması amaçlanmıştır. Bunun için alternatif montaj hücrelerindeki normal mesainin tam kullanılması ve taleplerin aynı hafta karşılanması düşünülmüştür. Normal mesainin tam kullanılmasıyla; montaj hücrelerindeki fazla mesai süresi azalmış ve üretim maliyetleri düşmüştür. Taleplerin zamanında karşılanmasıyla da teslimatın gecikme riski ortadan kalkmıştır.

Anahtar Kelimeler: İş yükü dağıtımı, amaç programlama, hücresel imalat.

THE GOAL PROGRAMMING APPROACH FOR THE ASSEMBLY AREA WORKLOAD DISTRIBUTION PROBLEMS

ABSTRACT

In the real life, the systems generally have multiple and confliction aims. In the airplane industry, the elements of zero defect and punctual delivery are significant for security and prestige. However, it is obvious that the rapid and intensive production for punctual delivery would increase the level of defect. In this respect, our study aimed to solve the problem of workload distribution to alternative assembly cells in an air vehicle producing factory in regards to those elements. Throughout the solution process, the technique of goal programming, which finds out the effective solution after evaluating the confliction aims at the same time, is used. With this technique, the elements of zero defect and punctual delivery are aimed to be obtained at the same time without ignoring the costs. Therefore, it was planned to have full work at alternative montage cells and to meet the demands in the same week. By using the standard work as full, the overtime at assembly cells has lessened and therefore, the production costs have decreased. In addition, by meeting the demands in the same week, the risk of delay in the delivery has been removed.

Keywords: Workload distribution, goal programming, cellular manufacturing.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gerçek hayatta sistemler birden çok ve genellikle birbiriyle çatışan amaçlara sahiptir. Bu gibi durumlarda birbirleri ile çatışan amaçları en uygun şekilde gerçekleştirecek uygun bir çözüme arayışına

gidilebilir. Birden çok amacı aynı anda gerçekleştirecek çok amaçlı karar verme yöntemlerine başvurmak gerekir. Çok amaçlı karar verme yöntemlerinden birisi de Amaç Programlamadır. Amaç programlamada temel düşünce bütün amaçları tek tek ele alarak hedeflere dönüştürerek ve bu

hedefleri gerçekleştirmeye çalışmaktır. Sonuçta elde edilen çözüm birbirleriyle çatışan bütün amaçlar için uygun olmayabilmektedir. Ancak bu teknik problemin geneli için “etkin çözüm” olarak adlandırılan bir uygun çözümün elde edilmesini sağlar. Bu çalışmada TAI'nin uçak parçaları montajı yapılan Boing Wichita montaj alanında (BW) iş dağılımı sağlanmaya çalışılmıştır. Problem toplam maliyetin minimizasyonu amacını gerçekleştirmek üzere çözüldüğünde normal mesai, fazla mesai ve stokta tutma maliyetleri toplamından oluşan maliyet minimum yapılabilmektedir. Ancak iş dağılımı yapılırken sistemde var olan başka amaçların da dikkate alınması ve aynı anda gerçekleştirilmesi daha gerçekçi olacaktır. Bu sebeple bu çalışmada dönemlik üretim miktarlarının sipariş miktarını tam olarak karşılaması ve normal mesai süresinin etkin kullanılması hedefleri gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Çözümde amaç programlama yaklaşımı kullanılmıştır.

Çalışmanın yapıldığı Firma Türkiye’de savaş uçağının imalat ve montajını yapmak, bu uçakların fabrika seviyesinde bakımını yürütmek, nakliye uçağı, helikopterler için ilgili yan mamulleri üretmek, havacılık ve uzay gibi çok yüksek bir teknik alanı kapsayan askeri ve ticari mamullerin Türkiye’de tasarımını yapabilmek ve üretebilmek için kurulmuştur.

Bu çalışmada ürünün tek bir montaj aşamasında kapasite kısıtı altında, çok ürünlü ve çok dönemli, değişken ve belirli talebi karşılamak üzere üretildiği bir problem olarak ele alınmıştır. Bu yapı Literatürde parti büyüklüğü belirleme problemi olarak yer almaktadır. Bu konuda ise pek çok çalışma yapılmıştır. Doğramacı vd. [1] kısıtlandırılmış tek aşamalı çok ürünlü sistemler için bir dinamik programlama algoritması geliştirmişlerdir. Karni ve Roll [2] çok ürünlü, tek aşamalı kısıtlandırılmamış parti büyüklüğü problemleri için sezgisel bir metot geliştirmişlerdir. Eppen ve Martin [3] yapmış oldukları çalışmada çok ürünlü, tek aşamalı kısıtlandırılmış parti büyüklüğü problemlerinin optimal çözümünü, yeniden değişken tanımlayarak bulan bir algoritma geliştirerek bulmuşlardır. Gelder vd. [4] yapmış oldukları çalışmada çok ürünlü, tek aşamalı kısıtlandırılmış dinamik parti büyüklüğü probleminin çözümü için dal-sınır tekniğine dayanan bir algoritma kullanmışlardır. Maes vd. [5-7] kısıtlandırılmış, çok ürünlü, tek aşamalı parti büyüklüğü problemi için sezgisel bir metot geliştirmişlerdir. Kırca [8] tek ürünlü kısıtlandırılmış dinamik parti büyüklüğü problemlerinin çözümü için dinamik programlama temeline dayanan, dönem başı ve dönem sonu stoklarının sıfır olduğu varsayımı ile bir algoritma geliştirmiştir. Kırca ve Kökten [9] kısıtlandırılmış çok ürünlü, tek aşamalı parti büyüklüğü problemlerinin çözümü için yeni bir sezgisel metot geliştirmişlerdir. Çalışmada her dönemde her ürün için talebin bilindiği, yok satma durumunu söz konusu olmadığı ve kısıtlı üretim

kapasitesi bulunduğu durum dikkate alınmıştır. Ganas ve Papachristos [10] kısıtlı talep altında tek aşamalı parti büyüklüğü problemi için bazı sezgisel tekniklerin performansını değerlendiren bir çalışma yapmışlardır. Özyörük [11] yaptığı çalışmada parti büyüklüğü çalışması için toplam maliyetlerin minimize edilmesinin yeterli olmadığını, çok amaçlı karar verme yöntemlerinin çeşitli amaçları gerçekleştirilmesi için kullanılabileceğini belirtmiştir ve parti büyüklüğü problemleri için amaç programlama modeli geliştirilmiştir. Karimi vd. [12] yaptıkları çalışmada üretim planlama faaliyetlerinin uzun, orta ve kısa dönemli olarak gerçekleştirilmesini belirlemiştir. Yazarlar belirli, tek aşamalı, dinamik parti büyüklüğü belirleme problemleri için çözüm metodlarını kesin çözüm üreten, probleme özgü sezgiseller ve matematiksel programlama temelli sezgiseller olarak üç kategoride özetlemişlerdir. Şimşek [13] havacılık sektöründe normal mesai ve fazla mesai ihtiyaçlarını ortaya koymak, belirli dönemler için üretim planını toplam maliyeti minimize edecek şekilde doğrusal programlama modeli geliştirmiştir.

2. AMAÇ PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI (GOAL PROGRAMMING APPROACH)

Amaç programlama olarak bilinen yöntem, 1959'larda Charnes ve Cooper tarafından regresyon çözümlenmesine bir alternatif olarak ortaya atılmıştır [14]. Amaç programlama da mümkün olduğu kadar bütün hedeflere en iyi şekilde ulaşmak istenir. Bu nedenle belirlenen her amacı tek tek ele alıp, onların elde edilemeye ölçüsüyle ilgilenir. Özetle amaç programlaması, belli kararlar çerçevesinde farklı ve çelişen amaçların en iyilenmesini araştıran bir yöntemdir. Amaç programlamasının gerçek karar problemlerine uygulanabilirliği daha konunun ilk ele alındığı yıllarda anlaşılmıştır [15]. Bu çalışmada amaç fonksiyonun doğrusal olduğu, deterministik bir amaç programlama modeliyle çalışılmıştır.

2.1. Amaç Fonksiyon Yapıları (Structures of The Goal Function)

Doğrusal amaç programlamasında genellikle üç farklı amaç fonksiyon yapısı ile karşılaşılabilir. Çalışmada kullandığımız yapı non-weighted amaç programlamadır. Bu yapıda amaçların her birinin farklı önceliklere sahip olduğu ve en yüksek öncelikli amaçtan düşük öncelikli amaca doğru sapmaların minimize edildiği tiptir. Aşağıda verildiği biçimde ifade edilir [14].

$$\min Z = P_k (d_i^+ + d_i^-)$$

Doğrusal Amaç Programlama modellerinde ilginç bir nokta, amaç fonksiyonunda hiçbir karar değişkeninin yer almamasıdır. Doğrusal modeldeki bilinmeyen X_i değişkeni amaç kısıtının sağ taraf değerinden pozitif

ve / veya negatif sapmaların direkt veya indirekt minimizasyonu ile aranır.

Doğrusal amaç programlama model formülasyonu için gerekli bazı terimlerin açıklaması aşağıdadır:

Amaç: Verilen amaç kısıtında, belirtilen sağ taraf değerinden nümerik sapmaların minimizasyonu istenmektedir.

Amaç Kısıtları: Kısıtlar seti, ilgili araştırma veya problemin durumunu modellemeyi ifade eder.

Sapma Değişkenleri: Değişkenler, amaç kısıtlarının sağ taraf değerlerinden negatif veya pozitif sapma değişkeni ile sınırlanmıştır.

2.2. Amaç Programlama Modelinin Çözümü (Solution of The Goal Programming Model)

Amaç programlamada çözüm, genelde Sıralı (Öncelikli) Amaç Programlama ve Çok Safhali (Önceliksiz) Simplex Metodu olmak üzere iki metotla gerçekleşir [14]. Çok safhali simplex çözüm yönteminde amaçların tamamı aynı anda gerçekleştirilmeye çalışıldığı için çözüm zamanı büyüktür. Oysa sıralı amaç programlama çözüm yönteminde her bir amaç tek tek ele alınarak çözüm yapıldığından bilgisayar çözüm zamanı oldukça düşüktür [15].

Sahip olduğu çözüm zamanı avantajı ve özellikle hedeflerin görece öneminin kesin olarak belirlenmesinin zor olması nedeniyle bu çalışmada sıralı amaç programlamanın kullanılması uygun bulunmuştur.

Sıralı amaç programlamada karar vericinin en önemliden (1'nci amaçtan) en önemsiz (m'nci amaca) doğru amaçların sıralaması gerekmektedir. i amacına ait değişkenin amaç fonksiyonu katsayısı olarak P_i kullanılacak olursa; $P_1 \geq P_2 \geq \dots \geq P_m$ olduğu varsayılır. Bu tanım karar vericinin önce en önemli hedefi gerçekleştirilmeye çalışmasını sağlar.

3. İŞ YÜKÜNÜN DENGELENMESİ İÇİN ÇOK AMAÇLI BİR ÇALIŞMA (MULTI-OBJECTIVE STUDY FOR BALANCING THE WORKLOAD)

Bu çalışma üretimin imalat hücrelerinde yapıldığı BW Montaj Alanıdır. Hücresel imalatta her bir hücrenin işyükü dengelenmeye çalışılır. Aynı zamanda başka amaçlarında gerçekleştirilmeye çalışılması mümkündür. Hücre tasarımında birçok amacı birlikte gerçekleştirmeye çalışan çok amaçlı bir yaklaşım kullanmak daha gerçekçi olacaktır. Reismanın yapmış olduğu çalışmada hücresel imalatta çok amaçlı çalışmaların yapılmadığı söylemiştir ve bu konuda yapılmış olan çalışmaları özetle sunmuştur [16]. Defersa ve Chen hücresel imalat hücrelerinin tasarımında tek amaçlı matematiksel modelleri karşılaştıran bir çalışma yapmışlardır [17]. Kattan çoklu imalat hücrelerinde işyükü dengeleme çalışması

yaparak hücrelerin verimliliklerini ölçmüştür [18]. 2007 de Eski ve Özkarahan gerçek sistemlerdeki belirsizliği ve bir çok amacı birlikte ele alan fuzzy amaç programlama modeli geliştirmişlerdir [19].

Uygulamanın yapıldığı firmanın parça alanlarında üretilen, dış tedarikçiden gelen parçalar ve standart malzemeler birleştirilerek, tek operasyonda ilgili markanın 737, 747, 767, 777 tiplerine ait alt montaj parçaları üretilmektedir. Bu montaj alanı hücresel imalat yapabilecek şekilde düzenlenmiş olup, her bir hücrede üretilen parçalar; detay parçalarının ve imalat aşamalarının benzerliklerine göre gruplanarak hücrelere atanır. Bir parçanın üretim süresi kendi hücrede üretilen parçaların üretim süresi artmaktadır. Bu yüzden çalışmamıza konu olan 4 hücre, aynı parçaları üretebilme yeteneğine sahip, birbirinin alternatifi olabilecek komşu hücreler olarak belirlenmiştir. Bir parçanın üretiminin alternatif 3 hücrenin birinde yapılması ise ek maliyete neden olmaktadır. Bu 4 hücrenin birbirine alternatif olarak seçilmesinin nedenlerinden biri de ek maliyetlerin bu hücreler için %20 ile sınırlı kalmasıdır. Bu çalışmada ele alınan amaç programlama yaklaşımıyla, üretim miktarını sipariş miktarına eşitlenmesi ve normal mesainin tam kullanılmasının sağlanması hedeflenmiştir.

3.1. Varsayımlar (Assumptions)

Sistemin genel özelliklerini yansıtan, aşağıdaki varsayımlar altında model geliştirilmiştir.

- Hücre bazında boş zaman en aza indirmek hedefler dahilindedir.
- Üretim maliyeti olarak normal mesai için 1 birim/saat, fazla mesai için 1,5 birim/saat alınmıştır.
- Üretim saati olarak parçaların gerçekleşen minimum saati kullanılmıştır.
- Alternatif hücrede üretim saatleri % 20 oranında artacaktır.
- Modelde stoklu çalışmaya izin verilmesi ve teslimatları yetiştirilmesi hedefinin ön planda olması nedeniyle parçaların önden üretilmesine izin verilmiştir.
- Stokta tutma maliyeti 1birim/saat olacak şekilde, üretim maliyeti ile aynı kabul edilmiştir.
- İş emrinde yapılacak işlerin bölünüyor olmasında, kısıtlı çözüm ortamının tam sayı sonuçların bulunmasını engellemesinin de etkisi vardır.

3.2. Kullanılan Notasyonlar (Used Notations)

i : parça $i = 1, 2, \dots, 96$
 j : hücre $j = 1, 2, 3, 4$
 t : dönem (2 hafta) $t = 1, 2, \dots, 10$
 X_{ijt} : i parçasının j hücrelerinde t döneminde, normal mesaide üretilen miktarı
 Y_{ijt} : i parçasının j hücrelerinde t döneminde, fazla mesaide üretilen miktarı

a_{ij} : i ürününü j hücreinde üretimi, birim saat
 I_{it} : i üründen t döneminde elde kalan miktar
 I_{i0} : i ürünü başlangıç stoku
 D_{it} : t döneminde i ürününe olan talep (teslimat)
 NM_{jt} : t döneminde j hücresi toplam normal mesai saati (çalışan sayısı * 7.5 saat)
 FM_{jt} : t döneminde j hücresi toplam fazla mesai saati (çalışan sayısı * 2.5 saat)
 K : Teslimat yapılacak her K. dönem (k=1,2,...)
 N_{1t} : t. dönemde 1. hedef değerinden negatif sapma
 P_{1t} : t. dönemde 1. hedef değerinden pozitif sapma
 N_{2t} : t. dönemde 2. hedef değerinden negatif sapma
 P_{2t} : t. dönemde 2. hedef değerinden pozitif sapma

3.3. Amaç Programlama Modeli (Goal Programming Model)

Ele alınan sistemde aşağıda belirtilen amaçlar gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

1. Üretim miktarının sipariş miktarına eşit olması
2. Normal mesainin en fazla miktarda kullanılması

$$\text{Amaç 1 } \min Z_1 = \sum_{t=1}^T (N_{1t} + P_{1t}) \quad t=1,2,\dots,10 \quad (1)$$

$$\text{Amaç 2 } \min Z_2 = \sum_{t=1}^T (P_{2t}) \quad t=1,2,\dots,10 \quad (2)$$

Amaç Kısıtları

1. Teslimat talebinin karşılanması kısıdı

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 \sum_{t=1}^K (X_{ijt} + Y_{ijt}) + (N_{1t} - P_{1t}) = \sum_{t=1}^K D_{it} \quad (3)$$

$$i = 1,2,\dots,96; t = 1,2,\dots,10$$

2. Normal mesainin en fazla miktarda kullanılması kısıdı

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 (a_{ij} * X_{ijt}) + (N_{2t} + P_{2t}) = NM_{jt} \quad (4)$$

$$i = 1,2,\dots,96; t = 1,2,\dots,10$$

Sistem Kısıdı

1. Toplam talebin karşılanması kısıdı

$$\sum_{i=1}^n I_{i0} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 \sum_{t=1}^T (X_{ijt} + Y_{ijt}) = \sum_{t=1}^T D_{it} \quad (5)$$

$$i = 1,2,\dots,96; t = 1,2,\dots,10$$

2. Fazla mesai kısıdı

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 (a_{ij} * Y_{ijt}) \leq \sum_{j=1}^4 FM_{jt} \quad (6)$$

$$i = 1,2,\dots,96; t = 1,2,\dots,10$$

3. Toplam üretim saatinin karşılanması kısıdı

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 \sum_{t=1}^K (a_{ij} * X_{ijt} + a_{ij} * Y_{ijt}) \leq \sum_{t=1}^K \sum_{j=1}^4 (NM_{jt} + F_{jt}) \quad (7)$$

$$i = 1,2,\dots,96; j = 1,2,3,4; t = 1,2,\dots,10$$

4. t. Dönemdeki stok miktarı

$$I_{it} = I_{i(t-1)} + \sum_{j=1}^4 (X_{ijt} + Y_{ijt}) - D_{it} \quad (8)$$

$$i = 1,2,\dots,96; t = 1,2,\dots,10$$

Yukarıda sırası ile minimum yapılacak sapma değişkenleri amaç fonksiyonunda yer almaktadır. Problem, amaç kısıtları ve sistem kısıtları altında her ürün ve her dönem için göz önüne alınarak çözülür. Çözümde sıralı amaç programlama çözüm yöntemi uygulanmış ve model çözümü *What'sBest!* paket programı kullanılarak yapılmıştır. Sırasıyla farklı amaç için iki farklı sıra dikkate alınarak çözüm yapılmıştır.

1. Sıra Çözüm

Birinci öncelikli amacımız olan üretim miktarının sipariş miktarından sapmasını minimize edecek parametrik şekil aşağıda verilmiştir.

$$\text{Amaç } \min Z_1 = \sum_{t=1}^T (N_{1t} + P_{1t})$$

Amaç kısıtları için eşitlik 3, 4, Sistem kısıtları için eşitlik 5, 6, 7, 8 kullanılmıştır.

$$X_{ijt}, Y_{ijt}, I_{it}, D_{it}, N_{1t}, P_{1t}, a_{ij}, NM_{jt}, FM_{jt} \geq 0$$

2. Sıra Çözüm

2. öncelikli amacımızı gerçekleştirmek için modelimize ilk çözümden elde edilen sonuç kısıt olarak ilave edilir ve aşağıda görülen yapı oluşur.

$$\text{Amaç } \min Z_2 = \sum_{t=1}^T (P_{2t})$$

Amaç kısıtları için eşitlik 3, 4, Sistem kısıtları için eşitlik 5, 6, 7, 8 kullanılmıştır.

$$\sum_{t=1}^T (N_{1t} + P_{1t}) \leq A$$

A = 1. çalışmada elde edilen amaç fonksiyonu değeri

$$X_{ijt}, Y_{ijt}, I_{it}, D_{it}, N_{1t}, P_{1t}, a_{ij}, NM_{jt}, FM_{jt} \geq 0$$

Modelin (1-2) sıra çözümü gerçekleştirildiğinde üretim miktarının talepten 219,5 birim daha fazla olduğu ve normal mesai kapasitesinin tam olarak kullanıldığı sonucuna ulaşılmıştır. Diğer alternatifleri değerlendirmek için (3-4) sıra çözümü de gerçekleştirilmiştir.

3. Sıra Çözüm

Birinci öncelikli amacımız olan normal mesainin en fazla miktarda kullanılmasını gerçekleştirecek parametrik yapı aşağıda verilmiştir.

$$\text{Amaç} \quad \min Z_2 = \sum_{t=1}^T (P_{2t})$$

Amaç kısıtları için eşitlik 3, 4, Sistem kısıtları için eşitlik 5, 6, 7, 8 kullanılmıştır.

$$X_{ijt}, Y_{ijt}, I_{it}, D_{it}, N_{1t}, P_{1t}, a_{ij}, NM_{jt}, FM_{jt} \geq 0$$

4. Sıra Çözüm

Fazla mesainin tam kullanımı amacımızı gerçekleştirmek için modelimize 3. çalıştırmadan elde edilen sonuç kısıt olarak ilave edilir ve aşağıda görülen yapı oluşur.

$$\text{Amaç} \quad \min Z_1 = \sum_{t=1}^T (N_{1t} + P_{1t})$$

Amaç kısıtları için eşitlik 3, 4, Sistem kısıtları için eşitlik 5, 6, 7, 8 kullanılmıştır.

Bütünleşik olarak sağlanmaya çalışılan iki amaç öncelik sırasının değiştirilmesiyle elde edilen alternatiflerin çözülmesi sonucu bulunan, her amaç için katlanılması gereken amaçtan sapma miktarları Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre, öncelikli amacımız ister üretim miktarlarını taleplere eşitlemek, isterse de

normal mesainin tam kullanılmasını sağlamak olsun; mevcut talepten 219,5 birim sapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu sağlandığında ise hangi öncelik sırasında olursa olsun normal mesaiyi süresinin üzerine çıkılmaması amacı gerçekleştirilmektedir.

İki alternatifin de çözüm sonuçlarının eşit olmamasına rağmen maliyetler, verimlilik ve iterasyon sayılarındaki farklılık, kara vericiyi iki farklı çözüm arasında seçim yapmaya zorlamaktadır. İterasyon sayısının ve çözüm süresinin 1-2 sıra çözüm alternatifi için daha az olması, bu alternatifi avantajlı duruma getirmektedir. Alternatif seçiminde net bir karar verebilmek için toplam maliyet ve verimliliklerin de karşılaştırılması gerekmektedir.

Ortaya çıkan toplam maliyetler ve yapılan 1-2 ve 3-4 sıra çözüm alternatiflerinin mevcut üretim kapasitesi ve atanmış üretim süreleri oranlanarak elde edilen verimlilik değerleri Tablo 2'de sunulmuştur. Tablo 2'de sunulan hücre verimlilikleri karşılaştırıldığında 3-4 sıra çözümünün 1. ve 2. hücrelerinde verimliliğin daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı zamanda bu modeldeki fazla mesai çalışma saatinin daha düşük olmasının, işçi verimliliği için önemli olduğu açıktır. Çünkü daha az fazla mesai yapan işçiler, normal mesai saatleri içerisinde dikkatlerini ve motivasyonlarını koruyacaklar, dolayısıyla hatalı ürün oranını azalacaktır.

1-2 sıralı çözüm için kapasite ve dengelenmiş iş yükü durumu dikkate alınarak, 1.hücre, 2. hücre, 3. hücre ve 4. hücre için ayrı ayrı verimlilikler grafiğe aktarılmış ve Şekil 1'de sunulmuştur.

$$\sum_{t=1}^T (P_{2t}) \leq B$$

B = 3. çalışmada elde edilen amaç fonksiyonu değeri

$$X_{ijt}, Y_{ijt}, I_{it}, D_{it}, N_{1t}, P_{1t}, a_{ij}, NM_{jt}, FM_{jt} \geq 0$$

Şekil 1 incelendiğinde normal mesai kapasitesine ve onun yaklaşık %20 si kadar olan fazla mesai kapasitesinin Şekil 1.a'da hücre 1, Şekil 1. b'de hücre 2, Şekil 1.c'de hücre 3, Şekil 1.d'de hücre 4 için kullanım durumu verilmiştir.

Şekil 1'de verilen grafikler incelendiğinde normal mesai limitini gösteren sürekli kırmızı çizginin altında tüm hücreler için işyükü dağıtılmıştır.

Tablo 1. Alternatiflerin öncelik seviyeli çözüm sonuçları (Priority level solutions of the alternatives)

ALTERNATİFLER	ÖNCELİKLER	AMAÇ FONKSİYONU DEĞERİ	İTERASYON SAYISI	TOPLAM MALİYETLER	ÇÖZÜM ZAMANI (sn)
I	AMAÇ 1	219,5	963	5262	4
	AMAÇ 2	0			
II	AMAÇ 2	0	987	5352	8
	AMAÇ 1	219,5			

Tablo 2. Toplam maliyetler ve montaj hücresi verimlilikleri (Total costs and assembly cell productivity)

1-2 Sıra Çözüm			
	NORMAL MESAİ MALİYETİ	FAZLA MESAİ MALİYETİ	TOPLAM
Hücre 1	704,0	608,5	1312,5
Hücre 2	704,0	483,9	1187,9
Hücre 3	704,0	432,8	1136,8
Hücre 4	704,0	248,6	952,6
Elde Bulundurma Maliyeti	671,9		
Toplam Maliyet	5261,7		
ÜRETİM KAPASİTESİ		ÜRETİM SÜRESİ	VERİMLİLİK
Hücre 1	1109,7	891,9	%80,4
Hücre 2	1026,6	857,6	%83,5
Hücre 3	992,5	764,7	%77,0
Hücre 4	869,7	753,3	%86,6
3-4 Sıra Çözüm			
	NORMAL MESAİ MALİYETİ	FAZLA MESAİ MALİYETİ	TOPLAM
Hücre 1	704,0	697,5	1401,5
Hücre 2	704,0	499,9	1203,9
Hücre 3	704,0	393,3	1097,3
Hücre 4	704,0	262,2	966,2
Elde Bulundurma Maliyeti	683,2		
Toplam Maliyet	5352,1		
ÜRETİM KAPASİTESİ		ÜRETİM SÜRESİ	VERİMLİLİK
Hücre 1	1169,0	975,7	%83,5
Hücre 2	1037,3	774,5	%74,7
Hücre 3	966,2	755,8	%78,2
Hücre 4	878,8	761,4	%86,6

3-4 sıralı çözüm için kapasite ve dengelenmiş iş yükü durumu dikkate alınarak, 1.hücre, 2. hücre, 3. hücre ve 4.hücre için ayrı ayrı verimlilikler grafiğe aktarılmış ve şekil 2. de sunulmuştur.

Şekil 2'de verilen grafikler incelendiğinde normal mesai limitini gösteren sürekli kırmızı çizginin altında tüm hücreler için işyükü dağıtılmıştır.

Her iki çözümde uygulanabilir iş dağıtımı gerçekleşmiştir. Sipariş miktarının karşılanması ve normal mesai kapasitesinin mümkün olduğunca tam kullanımı amaçları gerçekleştirilmiştir.

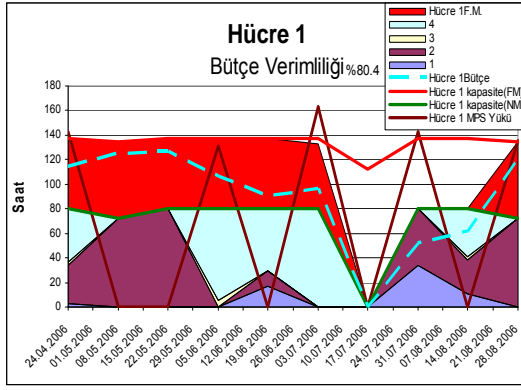
Şekil 2'de normal mesai kapasitesine ve onun yaklaşık %20 si kadar olan fazla mesai kapasitesinin Şekil 2.a da hücre 1, Şekil 2. b. de hücre 2, Şekil 2.c. de hücre 3, Şekil 2.d. de hücre 4 için kullanım durumu verilmiştir.

Şekil 1 ve 2' de sırasıyla (1-2) ve (3-4) sıra çözümlerinin sonuçları olarak, kurulan modelin ürünleri alternatif hücrelere hem normal hem de fazla mesaide üretilmesi için atadığı görülmektedir. Bunun nedeni uçak sanayinde sıfır hatanın ve zamanında teslimatın maliyetlerden önemli olmasıdır. Model

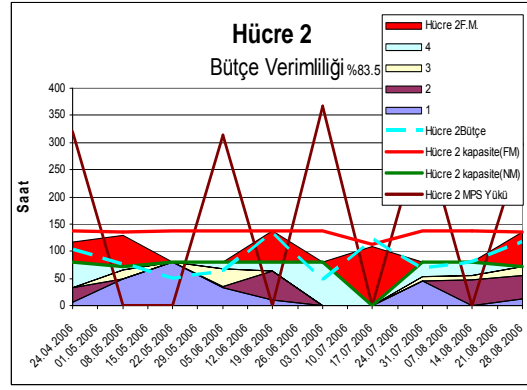
böylece kendi üretim hücresinde zamanında yetiştirilemeyecek miktarları alternatif hücrenin normal mesaisinde, daha düşük hata oranlarıyla üretebilecektir. Bununla birlikte alternatif hücre normal mesai de üretim maliyeti, kendi hücresindeki fazla mesai maliyetinden düşük olduğu için maliyetlerin azaltılmasında da rol oynar. Tüm hücreler için tatmin edici bir iş planı elde edilmiştir.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (CONCLUSION and EVALUATION)

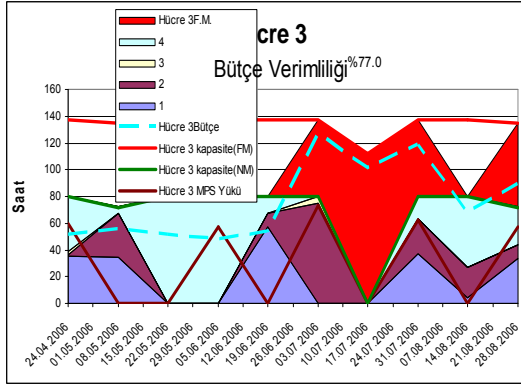
Bu çalışma sıfır hata ve zamanında teslimat faktörlerini büyük önem taşıdığı uçak sanayisinde yapılmıştır. Ele alınan amaç programlama modeli, talebin belirli olduğu ve parçaların zamanında teslimi için stoklamaya izin veren yapıdadır. Uygulanan model maliyetleri göz ardı etmeden bahsedilen faktörlerin önemini ön plana çıkarmaya çalışmıştır. Bunun içinde hata oranının azaltılmasına yönelik olarak normal mesainin tam kullanılması, zamanında teslimat içinde taleplerin kendi döneminde karşılanması amaçları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar bu modelin tatmin edici iş planı oluşturduğu ve alternatif hücreleri etkin kullandığını göstermiştir.



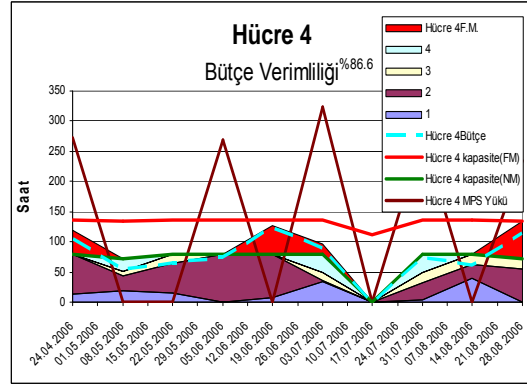
a) 1. hücre



b) 2. hücre

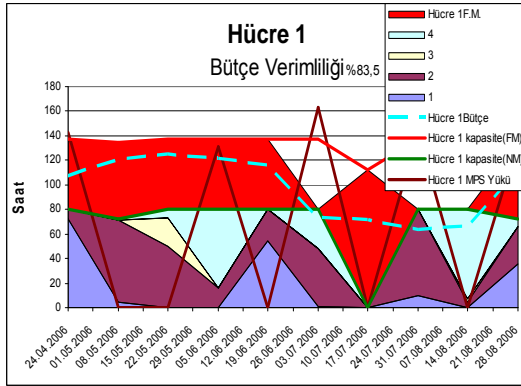


c) 3. hücre

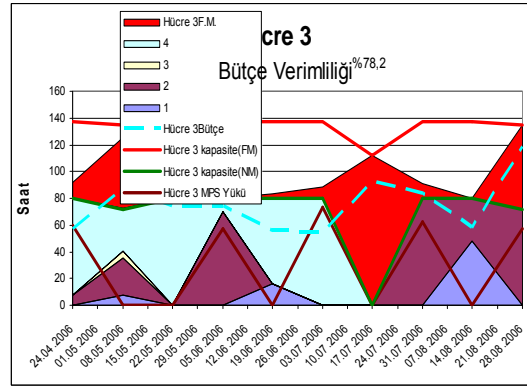


d) 4. hücre

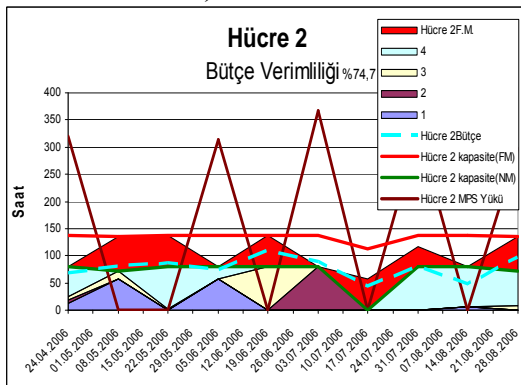
Şekil 1. 1-2 Sıra çözümle dengelenmiş olan iş yükü ve ana üretim çizelgesi iş yükünün karşılaştırılması
(Comparison of the balanced workload by 1-2 sequenced solution and main productive schedule workload)



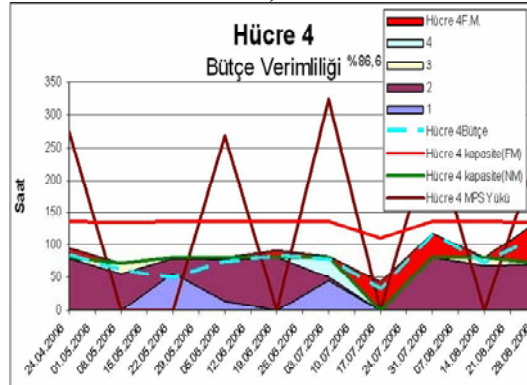
a)1.hücre



b)2.hücre



c) 3. hücre



d) 4. hücre

Şekil 2. 3-4 sıra çözümle dengelenmiş olan iş yükü ve ana üretim çizelgesi iş yükünün karşılaştırılması
(Comparison of the balanced workload by 3-4 sequenced solution and main productive schedule workload)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Doğramacı, A., Panayiotopoulos, J.E. ve Adam, N.R., "The Dynamic Lot Sizing Problem For Multiple Item Under Limited Capacity", **AIIE Transactions**, Cilt 13, No 4, 294-303, 1981.
2. Karni, R. ve Roll, Y.A., "A Heuristic Algorithm For The Multi- Item Lot Sizing Problem With Capacity Constraints", **IIE Transactions**, Cilt 45, 15-24, 1982.
3. Epen, G.D. ve Martin, R.K., "Solving Multi İtem Capacitated Lot Sizing Problems Using Variable Redefintion", **Operations Research**, Cilt 35, No 6, 832-846, 1987.
4. Gelders, L.F., Maes, J. ve Van Wassenhove, L.N., "A Branch and Bound Algorithm For The Multi Item Single Level Capacitated Dynamic Lotsizing Problem", **Lecture Notes In Economics And Mathematical Systems**, Cilt 266, 92-108, 1986.
5. Maes J. ve Van Wassenhove, L.N., "A Simple Heuristic For The Multi Item Single Level Capacitated Lotsizing Problem", **Operations Research Letters**, Cilt 4, No 6, 265-273, 1986.
6. Maes J. ve Van Wassenhove, L.N., "Capaciated Dynamic Lot Sizing Heuristics For Serial Systems", **International Journal Production Research**, Cilt 29, No 6, 1235-1249, 1986.
7. Maes J., McClain, J. ve Van Wassenhove, L.N., "Multi Level Capaciated Lotsizing Complexity and L.P. Based Heuristic", **European Journal Of Operational Research**, Cilt 53, No 2, 131-148, 1991.
8. Kırca, Ö., "An Efficent Algorithm For The Capacitated Single Item Dynamic Lot Size Problem", **European Journal Of Operational Research**, Cilt 45, No 1, 15-24, 1990.
9. Kırıcı, Ö. ve Kökten M., "A New Heuristic Approach For The Multi Item Dynamic Lotsizing Problem", **European Journal Of Operational Research**, Cilt 92, 26-37, 1992.
10. Ganas, I., ve Papachristos, S., "Deterministic Production Planing With Concav Costs And Capacity Constraints", **Management Science**, Cilt 48, 129-139, 1997.
11. Özyörük, B., **Parti Büyüklüklerinin Belirlenmesinde Amaç Programlama Yaklaşımı**, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000.
12. Karimi, B., Fatemi Ghomi S. M. T. Ve Wilson J. M., "The Capacitated Lot Sizing Problem: A Reviewof Model and Algorithms", **Omega**, Cilt 31, No 5, 365-378, 2003.
13. Şimşek, V., **Kafile Büyüklükleri Belirleme ve Doğrusal Programlama Yaklaşımı ile İş Yüğü Dengeleme**, Master Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006
14. Ignizio, J.P., **Linear Programming in Single and Multiple Objective Systems**, Prentice-Hall Englewood Cliff, New Jersey, 1982.
15. Ignizio, J.P., **Goal Programming and Its Extensions**, D.C. Heath, Lexington, MA, 1976.
16. Reisman, A.,Kumar, A., Motwani, J., Cheng, c. H. "Cellular Manufacturing: A Statistical review of The Literature (1965-1995)", **Operations Research**, Vol. 45, No.4, (July-Aug.,1997), pp. 508-520.
17. Defersha, F., Chen, M., "A Comprehensive Matematical Model For The Designe of Cellular Manufacturing Systems", **International Journal of Production Economics**, Vol.103, Issue 2, October 2006, pp. 767-783.
18. Kattan, İ., "Workload balance of cells in Designing of Multiple Cellular manufacturing sytems", **Journal of Manufacturing Technology Management**, Vol. 16, Issue:2, 2005, pp.178-196.
19. Eski, O., Ozkarahan, I., " Design of Manufacturing Cells for Uncertain Production Requirements with Presence of Routing Flexibility", **Lecture Notes İn Computer Science**, Vol. 4682, 2007,pp. 670-681.