T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT AKIŞ TİPİ ATÖLYEDE ÇİZELGELEME

Özlem CİHANLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT AKIŞ TİPİ ATÖLYEDE ÇİZELGELEME

Özlem CİHANLI

Prof.Dr. Erdal EMEL
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT AKIŞ TİPİ ATÖLYEDE ÇİZELGELEME

Özlem CİHANLI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez ..../...../20... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Erdal EMEL
Danışman

Doç. Dr. Seda ÖZMUTLU

Yrd. Doç. Dr. Gülay KASAP

ÖZET

Bu çalışmada iki aşamalı karma akış ipi üretim ortamında çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Özdeş olmayan paralel tezgahları içeren problemde, işler sadece belirlenen tezgahlarda işlenebilmekte ve sıralamaya bağlı hazırlık sürelerini içermektedir. Problemin amacı, en büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi olarak belirlenmiştir. Çözüme yönelik olarak bir matematiksel model geliştirilmiş ve modelin optimal çözümü MPL ile elde edilmiştir. Daha sonra model işlerin tamamlanma zamanını kısaltmak üzere eşit alt-parti büyüklükleri ile parti bölmeyi sağlayacak şekilde geliştirilmiştir. Önerilen model için optimal çözüm yine MPL ile sağlanmıştır. Sonuç olarak, her iki modelin çözüm değerleri ve performansları karşılaştırılmış ve farklı senaryolar için modelin doğruluğu sınanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İki Aşamalı Karma Akış Tipi Atölye, Sıralamaya Bağlı Hazırlık Zamanları, Karışık Tamsayılı Programlama, Özdeş Olmayan Tezgahlar, Tezgah Uygunluğu/Serbestisi, Parti Bölme

ABSTRACT

In this study, a hybrid flow shop scheduling problem is considered. This problem consists of un-identical parallel machines that can process only specific jobs and the machines have sequence dependent set up times. The objective function of the problem is minimization of maximum completion time. A mathematical model has been developed and optimal solution is gained by MPL. A mathematical model based on lot splitting with equal lot size is proposed to provide an improvement on objective. A mixed integer programming formulation is also given and used to get optimal solution. In conclusion, solution results and efficiency of the both models have been compared and several scenarios have been examined for validation of the model.

Key Words: Two-Stage Hybrid Flowshop, Sequence Dependent Setup Times, Mixed Integer Programming, Unidentical Machines, Machine Eligibility, Lot Splitting

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltma	Açıklama
MIP :	Karışık Tamsayılı Programlama (Mixed Integer Programming)
MPL :	Matematiksel Programlama Dili (Mathematical Programming Language)
HFS :	Karma Akış Atölyesi (Hybrid Flowshop)
HFPB :	Karma Akış Atölyesinde Paralel Üretim Yığınlama (Hybrid Flowshop with Parallel Batching)
B&B :	Dal&Sınır Tekniği (Branch&Bound Technique)
TS :	Tabu Arama (Tabu Search)
DR :	Çizelgeleme Kuralları (Dispatching Rules)
SA :	Benzetim Tavlaması (Simulated Annealing)
GA :	Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
E :	Erkenlik (Earliness)
Ew :	Ağırlıklandrılmış Erkenlik (Weighted Earliness)
T :	Gecikme (Tardiness)
Tw :	Ağırlıklandırılmış Gecikme (Weighted Tardiness)
C :	Tamamlanma Süresi (Completion Time)
Cw :	Ağırlıklandırılmış Tamamlanma Süre (Weighted Completion Time)

F : Akış Zamanı
(Flow Time)

Fw : Ağırlıklandırılmış Akış Zamanı
(Weighted Flow Time)

Prmp: Serbestlik

Prec: Öncelik

Brkdwn: Arıza

Recrc: Döngüsellik

ÇİZELGELER DİZİNİ

ŞEKİLLER DİZİNİ

SİMGELER DİZİNİ

C_{ij} : *i*.aşamada *j* işinin tamamlanma zamanı

$C_{\max}$: maksimum tamamlanma zamanı

s_{iljk} : *i*.aşamada *l* tezgahında *j* işinden sonra *k* işini işlemek için gerekli olan hazırlık süresi

p_{ilj} : *j* işinin i.aşamadaki *l* tezgahında birim proses zamanı

J : *N* adet işin kümesi $J = \{0,1,2,...N\}$

E_{ij} : *i*.aşamada *j* işini işleyebilen tezgahların kümesi

G_{il} : *i*.aşamadaki *l* tezgahında işlenebilen işler kümesi $(G_{il} \subseteq J)$

M_i : *i*.aşamadaki tezgahların kümesi

V: Yeterince büyük pozitif bir tamsayı

D_j : *j* işinin dönemdeki talep miktarı

a: Lot büyüklüğü

A_j : *j* işinin bölünebileceği maksimum parti sayısı

y_{iljm} : *i*.aşamada *l* tezgahında işlenen *j* işinin *m*. alt partisinin parti büyüklüğü

P_m: Paralel tezgah

F_m: Akış tipi

J_m: Atölye tipi

r_j : Hazır olma zamanı

L_j : Gecikme

E_j : Erken Bitirme

U_j : Geciken iş

r_{jk} : Sıralamayı bağlı hazırlık zamanı

d_j: Teslim süresi

w_j : Ağırlık

İÇİNDEKİLER

1.GİRİŞ

Günümüzün artan rekabetçi koşulları, işletmelerin değişen ekonomik koşullara çok çabuk uyum sağlamalarını gerektirmektedir. Bir işletmenin günümüz zor koşullarında ayakta kalabilmesi, ancak o işletmenin müşteri taleplerini tam miktarında, zamanında, istenen kalitede ve en az maliyetle karşılayabilmesi ile mümkündür. Piyasalardaki müşterilerin sürekli değişen ihtiyaçlarını ve isteklerini karşılamak için artan rekabet baskısı, işletmeleri etkin ve verimli üretim yapmaya zorlamaktadır. Bu rekabet ortamında işletmelerin sürekliliği için çeşitli prensipler ve felsefeler geliştirilmiş olup, çizelgeleme de bu uygulamalar arasında önemli bir yere sahiptir. İşletmeler hem mevcut kaynakların etkin kullanımını sağlamak, hem de günümüz rekabetçi dünyasında varlıklarını sürdürmek amacıyla etkin çizelgeleme yapmak zorundadırlar. Bu nedenle, üretim planlama ve çizelgeleme konusunda uzun yıllardan beri oldukça yoğun araştırmalar yapılmış ve yapılmaktadır.

Çizelgeleme, bir üretim sisteminde belli bir dönemde yapılacak işlerin sıralarının belirlenmesi ve buna uygun olarak gerekli kaynakların tahsis edilmesidir. Bu şekilde işletmeler müşteri isteği olan teslim tarihlerine cevap verebilmektedirler. Müşteri isteklerine zamanında cevap verilememesi halinde ise işletmelerin sıkı rekabet ortamında önemli kayıpları söz konusu olabilmektedir (Pinedo, 1995).

Üretim çizelgeleme, işletmelerin üretim planlamasının önemli bir parçasıdır ve proseslerde/üretimde bir karar verme problemidir. En genel anlamda çizelgeleme problemleri, kaynakların belli bir zaman süresi için, belirli işleri yapmak amacıyla tahsis edilmesi problemidir. Kaynaklar genellikle işgücü, sermaye, tezgah, enerji vb. gibi üretim sürecinde kullanılan ve farklı yapılara sahip faktörlerdir. Her biri, operasyon adı verilen belirli alt işler dizisinden oluşan işlerin, belirli sayıdaki tezgahlarda işlem görmesi gerekmektedir. Bir işin tüm operasyonlarının daha önceden belirlendiği sırada, o operasyonu yapabilecek tezgahlarda işlenmesi gerekmektedir. Her bir operasyonun yapılması da, belirli bir tezgahın belirli bir zaman aralığında kullanılmasını gerektirmektedir ki, bu zaman aralığına işlem süresi adı verilir. Her tezgahta bir t anında en fazla bir operasyon yüklenmiş olabilir. Bu şekilde tanımlanabilen çizelgeleme problemlerinin çözümü ise, belirli bir amaç fonksiyonunu sağlayacak şekilde, hangi tezgahlarda, hangi zaman aralıklarında, hangi işlerin yapılması gerektiğini verir. Buna göre, bir çizelge neyin, nerede, ne zaman yapılacağı bilgisini içermektedir.

Üretim çizelgeleme konusunda ilk ve en kapsamlı araştırmalardan biri Rinnooy Kan ‘ın (1976) çalışmasıdır. Bu çalışmada üretim çizelgeleme problemleri detaylı bir şekilde incelenmiş, tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır. Daha sonraki çalışmalarda bu problemlere en uygun çözüm yöntemleri bulunmaya çalışılmıştır. Yapılan bu araştırmaların sonucunda çoğu çizelgeleme probleminin NP-zor olduğu gösterilmiştir.

Çizelgeleme problemleri günümüzde hemen her yerde karşımıza çıkabilecek problemlerdir. Ancak çizelgeleme problemlerinin tanımından da anlaşılacağı gibi, bu problemler ilk kez endüstriyel üretim kapsamında ortaya atılmıştır. Daha sonrasında problemlerin farklı yorumları yapılarak diğer alanlarda da kullanılması sağlanmıştır. Hizmet, tedarik, taşıma, dağıtım ve bilginin işlenmesi ve iletimi alanlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada ise son yıllarda üzerinde daha fazla çalışılan ve endüstride de karşımıza çıkan gerçel bir çizelgeleme problemine odaklanılmıştır. Özdeş olmayan paralel tezgahların bulunduğu iki aşamalı karma akış tipi bir üretim ortamında, sıralamaya ve tezgaha bağlı hazırlık zamanları olduğunda belirlenen performans ölçütüne göre çizelgeleme yapılmıştır. Bu çalışma yapılırken, literatürde konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelenerek NP-zor olarak değerlendirilen bu probleme uygun karışık tamsayılı bir matematiksel model geliştirilmiştir. Daha sonra bu model geliştirilerek işlerin partilere bölünmesi için bir model önerilmiştir. MPL programı ile örnek bir veri seti ile her iki model için çözüm elde edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2.KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Çizelgeleme Problemlerinin Sınıflandırılması ve Gösterimi

Çizelgeleme problemleri standart bir gösterimle ifade edilmektedir. Bunun için $\alpha|\beta|\gamma$ şeklinde üç kısımdan oluşan bir gösterim kullanılmaktadır(Pinedo, 1995). Bu gösterimde α ile gösterilen alan, kaynakların bulunduğu üretim ortamını, bir başka deyişle tezgahların bulunduğu ortamın yapısını tanımlamak amacıyla kullanılır. İkinci kısımda β ile gösterilen alan, işlem karakteristikleri bilgisinin ve kısıtların bulunduğu alandır. γ ile gösterilen alanda ise optimize edilmesi beklenen performans ölçütünün ne olduğu bilgisi bulunur. Bu aşamada $\alpha|\beta|\gamma$ şeklinde sınıflandırılan problemler için ilgili alanlara yazılabilecek olası durumlar şöyledir:

α **Alanında Olabilecekler:**

Tek Tezgah (1): Tek makinenin bulunduğu ve diğerlerine göre çözülmesi en kolay olan problem sınıfını tanımlar.
Paralel Tezgah (P_m **):** Tek kademeli olarak m adet paralel özdeş tezgahın bulunduğu durumu tanımlar. Tezgahlar özdeş olmadığında ise (Q_m) olarak gösterilir.
Akış Tipi (F_m **):** Tüm işlerin aynı rotayı izlediği ve m adet tezgahtan aynı sırayla geçtiği üretim tipini tanımlar.
AtölyeTipi (J_m): m adet tezgahın bulunduğu ve tüm işlerin kendilerine özel rotalarıyla tezgahları gezdiği durumu tanımlar.

β **Alanında Olabilecekler:**

Hazır Olma Zamanı (r_j **):** İşe başlama zamanının olduğu durumları tanımlar. Bu sembol olmadığı durumlarda tüm işlerin sıfır anında hazır olduğu varsayılır.
Sıra Bağımlı Hazırlık Süresi(r_{jk} **):** j. ve k. işleri arka arkaya işlendiğinde iki iş arasında yapılacak hazırlık süresini tanımlar.

Serbestlik(prmp): Bir işin başlamasından bitişine kadar aynı tezgahta işlenme şartının olmadığı durumu tanımlar. Bu, işlem devam ederken başka bir tezgaha geçerek işin kalanının burada tamamlanması anlamındadır.

Öncelik (prec): Bu durum bir işin yapılmasından önce öncülünün yapılmış olmasını şart koşar. İşler arasında tanımlanmış öncelik sonralık ilişkileri bulunmaktadır.

Arıza (brkdwn): Sistemdeki tezgahların arızalanmaları durumunu tanımlar. Tezgahlar devamlı olarak çalışabilir durumda olamazlar.

Döngüsellik (recrc): İşlerin rotalarında bir tezgahtan bir çok kez geçmeleri durumunda döngüsellik oluşur.

Eş Süreler ($p_j = p, d_j = d$ **):** İşlem sürelerinin veya teslim tarihlerinin tümünün aynı olduğu durumu tarifler.

γ **Alanında Olabilecekler:**

Dikkate alınacak olan ve optimize edilmesi beklenen performans ölçütü veya ölçütleri bu kısımda gösterilir.

2.2 Çizelgeleme Açısından Üretim Ortamları

Üretim sistemlerinde oldukça farklı yapı ve özellikte imalat ortamlarına rastlanmaktadır. İnsan ve/veya makinelerden oluşan imalat ortamlarında malzeme hazırlama, mekanik imalat, montaj vb. faaliyetler gerçekleştirilmektedir. Üretim çizelgeleme ortamları, tezgahlı küçük atölyelerden, çok tezgahlı karmaşık atölyelere kadar farklı yapıda olabilir.

2.2.1 Tek Tezgahlı Çizelgeleme Ortamı

Tek tezgah ortamı oldukça basittir ve tüm diğer ortamların temel halidir. Tek tezgah ortamında elde edilen sonuçlar, sadece tek tezgahlı çizelgeleme problemlerine ışık tutmakla kalmayıp aynı zamanda daha karmaşık problemler için sezgisel yöntemlere de temel oluşturmaktadır. Pratikte, daha karmaşık çizelgeleme problemleri çoğunlukla tek tezgahlı alt problemlere dönüştürülürler (Pinedo,1995).

2.2.2 Paralel Tezgahlı Çizelgeleme Ortamı

Çizelgeleme problemleri sıkça çok tezgahlı durumlarla da ilgilenir. Çok tezgahlı durumlarda tezgahlar paralel ya da seri konumda olabilir. Paralel tezgahlı ortam, tek tezgah ortamının bir genellemesi olup, esnek akış tipi çizelgeleme ortamının spesifik halidir. Uygulama açısından da önemlidir çünkü paralel kaynakların mevcudiyeti endüstride oldukça yaygındır. Ayrıca paralel tezgahlar için kullanılan teknikler, çok aşamalı sistemler için kullanılan parti bölme yöntemlerinde kullanılmaktadır (Aydın, 1999).

Paralel tezgah ortamlarında birçok farklı amaç fonksiyonu ele alınabilirse de yaygın üç temel amaç şunlardır:

• En büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi,
• Toplam tamamlanma zamanının en küçüklenmesi,
• En büyük sapmanın en küçüklenmesidir (Pinedo, 1995).

2.2.3 Akış Tipi Çizelgeleme Ortamı

Birçok imalat ve montaj ortamında her bir iş üzerinde birden fazla operasyon yapılmaktadır. Bu operasyonlar tüm işler üzerinde aynı sırada yerine getirilmektedir. Böylece tüm işler aynı rotayı izlemektedir (Pinedo,1995). Tüm işlerin, tezgahlar üzerinden, aynı rotayı izleyerek aktığı ortam *Akış Tipi Çizelgeleme Ortamı (FlowShop)* olarak adlandırılmaktadır.

Hücresel imalat ortamları akış tipi ortamına örnektir. Bir iş ailesindeki her iş ilgili hücrede üretilirken her iş hücredeki tezgahların her birine aynı sırada uğrar. Burada her bir işin tüm tezgahlara uğraması zorunluluğu olduğu varsayılmaktadır. Eğer böyle bir zorunluluk yoksa bir işin uğramak zorunda olmadığı tezgahtaki operasyon süresi sıfır olarak kabul edilir (Pinedo, 1995).

Bazı durumlarda, işlerin aynı rotayı kullanarak uğrayacağı seri aşamalar mevcuttur. Her bir aşama aynı işi yapabilen paralel makinelerden oluşmuştur. Her bir iş, her bir aşamada sadece bir makinede işlem görmek zorundadır. Bu tür tezgah ortamına *Karma Akış Tipi Üretim Ortamı* denilmektedir.

Genellikle kullanılan performans ölçütü en büyük tamamlanma zamanının (makespan) en küçüklenmesidir. Bu ölçütün sağlanması aynı zamanda tezgah kullanım oranının da en büyüklenmesi anlamına gelmektedir. Geleneksel olarak, kullanım oranı en sık kullanılan performans ölçütüdür. Ancak, değişen günün koşulları ve üretim çevreleri nedeniyle diğer ölçütler de (maksimum tamamlanma süresi, geciken işlerin sayısı, gecikme, erkenlik, ağırlıklandırılmış akış süresi) önem kazanmıştır (Alpay, 2003).

2.2.4 Atölye Tipi Çizelgeleme Ortamı

Akış tipi çizelgeleme ortamı tüm işler için aynı rotayı içermektedir. Her bir işin kendine ait ancak diğerlerinden farklı olabilen bir rotaya sahip olduğu çizelgeleme ortamı *Atölye Tipi Çizelgeleme Ortamı (Job Shop)* olarak adlandırılmaktadır.

En genel durum için,

- Her bir işin her bir tezgahta işlenmesi,
- İşlem görmeyeceği tezgahtaki işlem süresinin sıfır olduğu,
- n tane işin m tane tezgahta işlem gördüğü,
- Her bir işin m tane işleme sahip oluğu,
- İşlem rotalarının ve işlem sürelerinin bir diğerinden farklılaşabildiği

bir üretim ortamı varsayılmaktadır. Atölye tipi çizelgeleme problemi, verilen bir amaç fonksiyonunu eniyileyecek şekilde her bir tezgahta iş sıralarının bulunmasıdır. Her bir tezgahta, işlerin n! sayıda farklı sıralaması olduğu düşünülürse m adet makine için toplam $(n!)^m$ sayıda olası durum mevcuttur. *n* ve *m*'in küçük değerleri için bile bu sayı oldukça büyüktür. İş gelişlerinin belirsizliği ve tezgah arızalanmaları gibi belirsizlikler de göz önüne alındığında, çok basit atölye tipi çizelgeleme problemleri bile çok karmaşık hale gelmektedir.

2.2.5 Karma Akış Tipi Çizelgeleme Ortamı

Karma akış tipi (hybrid flowshop) üretim çizelgeleme problemleri, akış tipi çizelgeleme problemleri ile paralel tezgahlı çizelgeleme problemlerinin özelliklerini birleştirmektedir. Bu tez çalışması kapsamında karma akış tipi üretim ortamı çizelgeleme üzerine bir model geliştirilmiştir. İlerleyen bölümde karma akış tipi üretim ortamındaki literatür çalışması hakkında detaylı bilgi sunulacaktır.

2.3.Performans Ölçütleri

Çizelgeleme problemlerinin çözümünde performans ölçütünü belirlemek oldukça zordur. Bunun nedeni ölçütlerin çok fazla olması, karmaşıklığı ve birbirleriyle çakışmasıdır. Bu yüzden performans ölçütü belirlenirken çok dikkatli olunmalıdır. Bir amaca göre eldeki çözüm iyiyken bir diğerine göre bu durumun bozulabilmesi söz konusu olabilir. Bu nedenle yapılan çizelgenin başarısının ölçümü için performans ölçütleri belirlenmeli ve geliştirilen çözümler bu ölçüte göre değerlendirilmelidir.

Performans ölçütleri basit olarak üç baslık altında incelenmektedir. Bunlar, tamamlanma zamanı tabanlı performans ölçütleri, teslim zamanı tabanlı performans ölçütleri ile stok ve tezgah kullanım maliyetine dayalı performans ölçütleridir.

• **Tamamlanma Zamanı Tabanlı Performans Ölçütleri:**

Tamamlanma zamanı ile ilgili performans ölçütleri aşağıda sıralanmıştır:

En büyük akış süresi $F_{enb} = Enb(F_1, F_2, ..., F_n)$

Ortalama akış süresi $\overline{F} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} F_i$

En büyük tamamlanma zamanı $C_{enb} = Enb(C_1, C_2, ..., C_n)$

Ortalama tamamlanma zamanı $\overline{C} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} C_i$

En büyük akış süresini (F_{enb}) en küçüklemek en fazla atölyede kalan işin süresini azaltarak maliyeti düşürmek anlamına gelir. En büyük tamamlanma süresi (C_{enb}) iş merkezinin ilgili işlere tahsis edilmesinden oluşan maliyetlerle ilişkilidir. İşin atölyeye geliş zamanı sıfırsa bu iki ölçüt birbirine eşdeğerdir. Ortalama tamamlanma ve ortalama akış sürelerini en küçüklemek işlerin atölyede kalma süreleri en küçükleneceğinden erken bitirmenin üstünlük sağlayabileceği durumlarda performans ölçütü olarak kullanılabilir.

• Teslim Zamanı Tabanlı Performans Ölçütleri:

İşlerin teslim zamanından önce ya da sonra bitirilmesi, süreçteki stoklar ve/veya bitmiş ürün stoklarını arttıracağından maliyetlerin artmasına neden olur. Bu yüzden işlerin teslim zamanında bitirilmesi hedeflenir. Teslim zamanına ağırlık veren performans ölçütleri aşağıda verilmiştir:

En büyük terminden sapma $L_{enb} = Enb(L_1, L_2, ..., L_n)$

Ortalama temrinden sapma $\overline{L} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} L_i$

En büyük gecikme $T_{enb} = Enb(T_1, T_2, ..., T_n)$

Ortalama gecikme $\overline{T} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} T_i$

Geciken iş sayısı n_t

$\overline{L}$ ve L_{enb} ölçütleri en küçüklendiğinde erken tamamlanan işler ödüllendirilir. $\overline{T}$ ve T_{enb} ölçütlerinde ise erken biten işler dikkate alınmaz, başka bir deyişle ödüllendirilmez, sadece geç biten işler cezalandırılır. Bazı durumlarda ise işin gecikme süresinin cezalandırılması anlamsız olabilir. Bu gibi durumlarda geciken iş sayısı en küçüklenir.

• Stok ve Tezgah Kullanım Maliyetine Dayalı Performans Ölçütleri:

Bu ölçütün amacı süreçteki mal stokunu en azlamak ve tezgahların etkin kullanımını sağlamaktadır. Bu performans ölçütleri aşağıdaki gibi olabilir:

İşlenmek üzere tezgahlarda bekleyen ortalama iş sayısı $\overline{N}_Q$

Tamamlanmamış ortalama iş sayısı $\overline{N}_U$

Tamamlanmış ortalama iş sayısı $\overline{N}_C$

Süreçteki ortalama iş sayısı $\overline{N}_P$

Ortalama tezgah boş zamanı $\overline{I}$

En büyük tezgah boş zamanı $\overline{I}_{enb}$

$\overline{N}_U$ ve $\overline{N}_C$ ölçütleri süreçteki stok maliyetleriyle doğrudan ilişkili göstergelerdir. $\overline{N}_C$ ölçütünü en küçüklemek, bitmiş ürünlerin stok maliyetini en azlar. Amaç, tezgahların verimli kullanımı ise $\overline{N}_P$ değerini en büyükleyen veya $\overline{I}$ ve $\overline{I}_{enb}$ _ değerini en küçükleyen çizelgeler tercih edilir.

2.4 Tanımlama ve Notasyonlar

Karşılaşılan çizelgeleme problemlerinin tümü, işlenmesi gereken işler/görevler kümesini ve bu işleri gerçekleştirmek için gereken bir elverişli kaynaklar kümesini içermektedir. Dolayısıyla, çizelgeleme sürecinde her bir kaynağın çeşidini ve miktarını belirlemek gerekmektedir. Böylece görevlerin/işlerin uygun olarak ne zaman gerçekleştirileceği belirlenmiş olur. Bununla beraber, her bir iş/görev kaynak gereksinimini, süresini, başlama ve bitiş zamanları gibi bilgiler cinsinden açıklanır. Aynı zamanda, bu görevler bütünü arasında herhangi bir teknolojik kısıt varsa bu da belirtilir. Kaynaklar ve işler/görevler hakkındaki bir çizelgeleme problemini tanımlar. Aşağıda, çizelgeleme problemine ilişkin bazı önemli tanımlar ve notasyonlar şu şekildedir:

i: m adet tezgahın yer aldığı tezgahlar kümesi $i=\{1,\ldots,m\}$ ve

j: n adet işin yer aldığı işler kümesi $j=\{1,\ldots,n\}$ olmak üzere

İşlem Süresi (Processing time): p_{ij} j. işinin i. tezgahtaki işlem süresi olarak ifade edilir. İşlem süresinin tezgahlara bağlı olmadığı özdeş tezgah durumlarda p_j olarak gösterilebilir (Pinedo,1995).

Hazır Olma Zamanı (Release time): r_j simgesi ile gösterilir ve j. işin sisteme geliş zamanını gösterir. En erken işleme başlanabileceği zamanı ifade eder (Pinedo,1995).

Teslim Zamanı (Due date): d_j simgesi ile gösterilir ve *j.* isin müşteriye teslim edileceği zamanı ifade eder. İşlerin teslim zamanlarının kesinlikle karşılanması isteniyor ve gecikmelere izin verilmiyorsa son tarih (deadline) olarak adlandırılır (Pinedo,1995).

Ağırlık (Weight): w_j olarak gösterilen ağırlık kavramı basit olarak *j.* işin diğer işlere göre önemlilik derecesini ifade etmektedir. Bu parametre örnek olarak *j.* işin sistemde bulunma maliyeti olarak gösterilebileceği gibi değişik ölçütler içinde işler ağırlıklandırılır (Pinedo,1995).

Tek Tezgah (Single machine): Tek tezgah durumu, olabilir en basit makine ortamıdır ve tüm diğer karışık tezgah ortamlarının temel halidir (Pinedo,1995).

Özdeş Paralel Tezgahlar (Identical machines in parallel): Pm ile gosterilir. *m* adet özdeş tezgahın bulunduğu bu ortamda, *j.* iş tek bir operasyona gereksinim duyar ve *m* tezgahtan herhangi birinde işlem görebilir (Pinedo,1995).

Farklı Hızlardaki Paralel Tezgahlar (Machines in parallel with different speeds): Qm ile gosterilir. *m* adet farklı hızlarda tezgahın bulunduğu bu ortamda, *i.* tezgahın hızı v_i ile gosterilir. p_{ij} ise *j.* işin *i.* tezgahta harcadığı zaman yani p_{ij}/v_{ij} ‘dir (Pinedo,1995).

Özdeş Olmayan Paralel Tezgahlar (Unrelated machines in parallel): Rm ile gösterilir. Bu tezgah ortamı farklı hızlardaki paralel makine ortamının genelleştirilmiş halidir. *m* adet birinden farklı paralel tezgahın bulunduğu bu tezgah ortamında *i.* tezgah *j.* işi v_{ij} hızında işleyebilir. p_{ij} ise *j.* işin i. tezgahta harcadığı zaman yani p_{ij}/v_{ij} ‘dir (Pinedo,1995).

Tamamlanma Zamanı (Completion time): C_j simgesi ile gösterilir ve *j.* işin tamamlandığı zamanı ifade eder (Pinedo,1995).

Akış Süresi (Flow time): F_j ile gösterilir ve *j.* işin sistemde geçirdiği süreyi, yani hazır olma zamanı ile tamamlanma zamanı arsındaki süreyi gösterir ve $F_j = C_j - r_j$ şeklinde gösterilir. Tüm işlerin hazır olma zamanları sıfır kabul edilirse bu değer tamamlanma zamanı ile aynı anlama gelmektedir (Pinedo,1995).

Gecikme/Sapma (Lateness): L_j ile gösterilir ve *j.* işin tamamlanma zamanı ile teslim zamanı arasında oluşan sapmayı gösterir. L_j pozitif ya da negatif değer alabilir ve $L_j = C_j - d_j$ şeklinde gösterilir (Alpay, 2003).

Erkenlik (Earliness): E_j ile gösterilir ve *j.* işin teslim zamanından önce tamamlandığını gösterir. $E_j = \text{Enb}\{0, -L_j\}$ olarak ifade edilir (Alpay, 2003).

Pozitif Gecikme (Tardiness): T_j ile gosterilir ve *j.* işin teslim zamanından sonra tamamlandığını gösterir. $T_j = \text{Enb}\{0, L_j\}$ olarak ifade edilir (Alpay, 2003).

Geciken İş: U_j, *j.* işin gecikip gecikmediğini ifade eder ve 0-1 değerlerini alabilir. $C_j > d_j$ ise $U_j = 1$,diğer durumlarda ise $U_j = 0$ olarak ifade edilir.

2.5 Çizelgeleme Problemlerinin Çözüm Yöntemleri

Çizelgeleme, üretim sistemlerini başarıya ulaştıracak ve etkin kaynak kullanımını sağlayacak karar verme sürecidir. Daha önce de belirtildiği gibi, çizelgeleme, amaç fonksiyonunu en iyileyecek şekilde, hangi tezgahlarda hangi işlerin hangi sırada işlenmesi gerektiğini belirler. Bu süreçte, sistemdeki kontrol edilebilir değişkenlerin alacağı değerler gerçek sistemi temsil eden modeller kullanılarak belirlenir. Modeller karar vermenin söz konusu olduğu problemlerin çözümlemesini yapmak için bir iskelet oluştururlar (Tersine, 1985). Modeller üzerinde çeşitli teknikler kullanılarak sistemin amaçları doğrultusunda en doğru kararların verilmesi esastır.

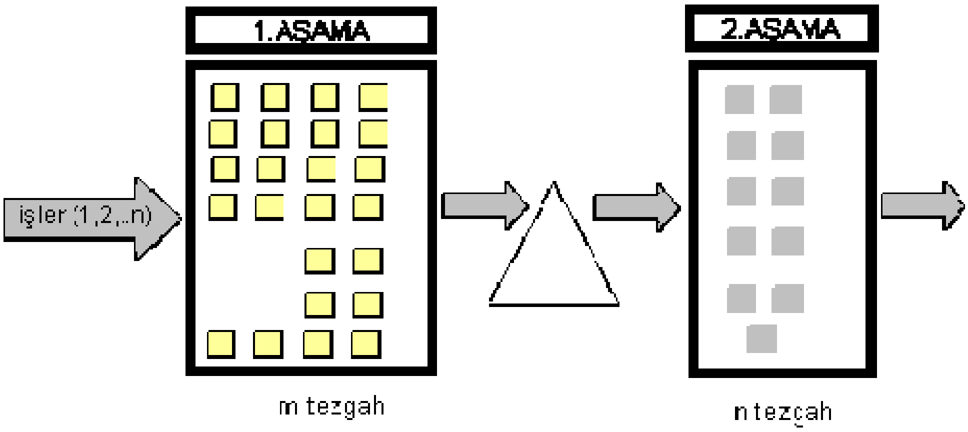
Çizelgeleme probleminin optimal çözümü, geçerli sıralamadan oluşan kümenin tüm elemanlarının kontrol edilmesi (sayılması) ile bulunabilir. Bu yönteme *tam sayım metodu* (complete enumeration) adı verilir. Bu metot çok küçük boyuttaki problemler için bile çok uzun zamanda bir çözüm bulabilmektedir. Bu sebepten dolayı, çizelgeleme problemlerinin çözümünde daha etkili yöntemler kullanılmalıdır. Bu yöntemlerden biri de *kombinatoryel analiz* (combinatorial analysis) dir. Bu analizde, bulunan geçerli bir çizelgede bazı küçük değişiklikler yapılarak (örneğin ardışık iki işin sırası birbiriyle değiştirilerek) optimal çözüm bulunmaya çalışılmaktadır. *Karışık tamsayılı* ve *doğrusal* *olmayan programlama* tekniği de çizelgeleme problemlerine optimal sonuç bulmak için kullanılan bir diğer yöntemdir. Ancak problem karmaşık hale geldikçe, modelin kurulması daha zor olmakta, modelde yer alan değişken sayısı artmakta ve bazı kısıtlar birbiriyle çelişebilmektedir. *Dal-sınır* ve *dinamik programlama* yöntemlerinde olası çözüm kümesi daha küçük alt kümlere ayrılarak bu alt kümelerde çözüm aranmaktadır. Pek çok problem için dal-sınır ve dinamik programlama teknikleri kabul edilebilir bir zamanda optimal çözümü bulabilmesine rağmen, genel olarak bu yöntemlerin değişik problem örnekleri karşısındaki davranışları tahmin edilemez nitelikte olduğu için, her problemin çözümünde kullanılamaz.

Yukarıda açıklanan sebeplerden dolayı, çoğu çizelgeleme problemine optimal çözümü bulabilecek bu yöntemler uygulanamamaktadır. Bu durum optimale yakın çözüm bulabilen *sezgisel (heuristik) metotların* kullanımını kaçınılmaz hale getirmiştir. (Özel, 1999)

2.6 Literatür Araştırması

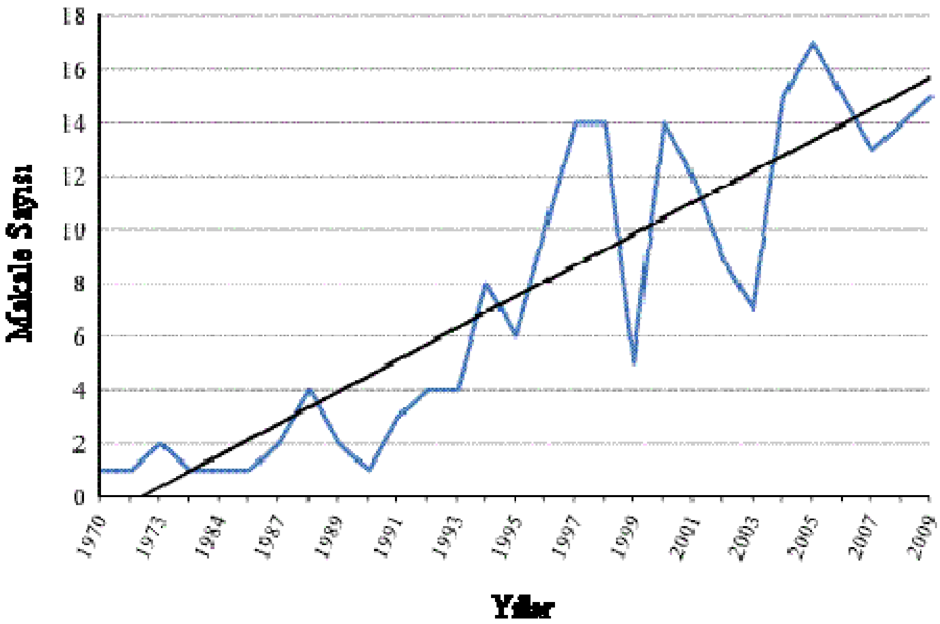
2.6.1 Karma Akış Tipi Üretimde Çizelgeleme

Sisteme gelen işler tek bir operasyona ihtiyaç duyuyor ise buradaki problem tek tezgahlı çizelgeleme problemidir ve işlerin hangi sıra ile yapılacağı belirlenmeye çalışılır. Paralel tezgahlı problemlerde, sisteme gelen işler mevcut tezgahların herhangi birinde yapılabilir. Akış tipi atölye problemlerinde ise işler birden fazla operasyona ihtiyaç duymaktadır. Karma akış tipi (hybrid flowshop) üretim çizelgeleme problemleri, akış tipi çizelgeleme problemleri ile paralel tezgahlı çizelgeleme problemlerinin özelliklerini birleştirmektedir. Karma akış tipi problemleri, seri şekilde iki veya daha fazla aşamalı üretim biriminden oluşur. Bu aşamalardan en az birinde birden fazla paralel tezgah bulunması esastır. (Şekil 1.1) Böylelikle üretim sistemine esneklik kazandırılır. (Gupta,1988)



Şekil 1.1 İki aşamalı Karma Akış Tipi Üretim Sistemi (A Hybrid Two-Stage Flowshop)

İki aşamalı karma akış tipi çizelgeleme problemleri, klasik çizelgeleme problemlerinden farklı olarak sadece sıralama değil aynı zamanda tezgahlara atama problemini de içerdiğinden NP-zor olduğu gösterilmiştir(Gupta, 1988). Karma akış tipi çizelgeleme problemi pek çok araştırmacının da ilgisini çekmektedir. Bununla beraber, Reisman ve arkadaşları (1997) tarafından yapılan literatür taramasına göre, 184 makaleden yalnızca beş tanesi (yaklaşık %3) endüstrideki gerçek durumlara göre yayınlanmıştır. Son yıllarda araştırmacılar, endüstride rastlanan bu karmaşık gerçel çizelgeleme problemleri üzerine çalışmaya başlamışlardır. Çünkü bu tip üretim sistemleri çeşitli endüstri kollarında (elektronik, tekstil, kağıt, gıda, kimya, metal vb.) oldukça sık karşımıza çıkmaktadır. Ruiz ve Rodriguez'in (2010) tarama makalesinde de belirttikleri gibi, karma akış tipi üretim ile ilgili yayınlanan makale sayısı her geçen yıl artış eğilimi göstermektedir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Yıllara göre makale sayılarının değerlendirmesi

Kaynak:R.Ruiz, J.A. Vazquez-Rodriguez / European Journal of Operational Research 2010, p.9

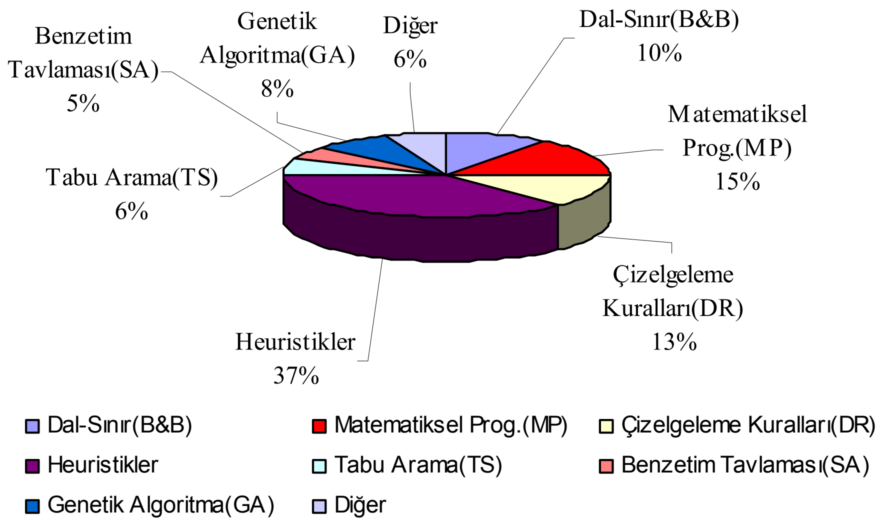
Ruiz ve Rodriguez (2009) çalışmalarında karma akış tipi çizelgelemeyi konu alan makalelerin aşama sayısı ve tezgah tipine göre dağılımını da incelemişlerdir. Yayınlanan makalelerin yaklaşık %25'i iki aşamalı özdeş paralel tezgah içeren daha basit modeller üzerinedir. Geçmiş yıllardaki çalışmaların büyük bir çoğunluğu (%83.72) 2-3 veya *m* aşamalı özdeş tezgahlı modelleri kapsamaktadır. (Tablo 1.1) Bu tez çalışmasında ise, üzerinde oldukça az çalışılan (%4.65) iki aşamalı özdeş olmayan paralel tezgahlardan oluşan karma akış tipi çizelgeleme incelenmiştir. Bunun yanı sıra çizelgelemede partilerin ayrıştırılması ile amaç fonksiyonu iyileştirilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 1.1 Makalelerin aşama sayısı ve paralel tezgah tipine göre dağılımı

	Paralel Tezgahların Tipi			
Aşama Sayısı	**Özdeş**	**Uniform**	**Özdeş olmayan**	**Toplam**
2	25,12	1,86	4,65	31,63
3	4,19	1,4	0	5,59
m	54,41	1,4	6,97	62,78
Toplam	83,72	4,66	11,62	100

Kaynak:R.Ruiz, J.A. Vazquez-Rodriguez / European Journal of Operational Research 2010, p.9

Çizelgeleme problemlerinin çözüm yöntemleri, optimum ve yaklaşık çözümler olmak üzere ikiye ayrılabilir. Optimum çözümü veren algoritmalar küçük boyutlu problemler için uygundur. Örneğin dal-sınır algoritması ve tamsayılı programlama bu algoritmalar içerisindedir. Büyük boyutlu problemlerde ise optimum çözümü bulmak çok zaman aldığından optimuma yakın sonuçlar elde edebilmek için sezgisel algoritmalar kullanılır. Bu sezgisel yöntemler, genetik algoritmalar, benzetim tavlaması, tabu arama ve karınca kolonileri gibi yöntemlerdir. (Şevkli ve Yenisey, 2006). Ruiz ve Roriguez (2010) tarafından yayınlanan tarama makalesinde, karma akış tipi atölye modellerinin çözümünde uygulanan yöntemleri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, Şekil 1.3' de görüldüğü üzere, karma akış atölye problemlerinin çözümünde daha çok sezgisel ve matematiksel programlama yaklaşımları kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında yine literatürde daha az kullanılan matematiksel programlama ile çözüm aranmıştır.

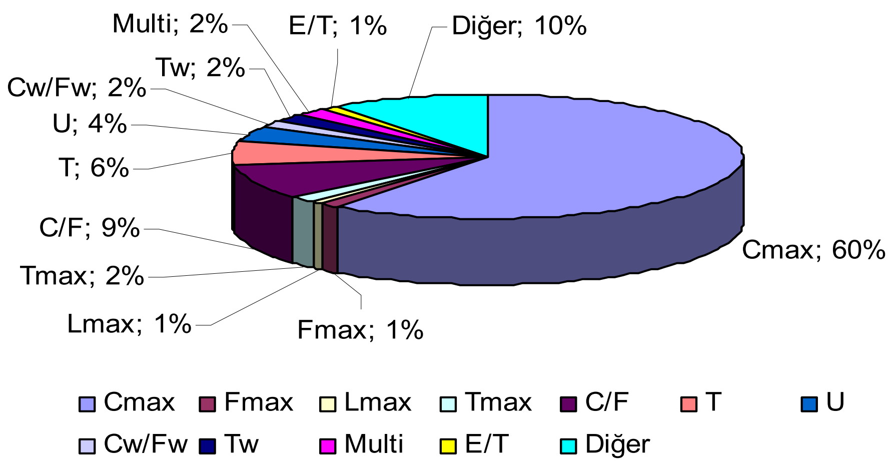


Şekil 1.3 Uygulanan Çözüm Yöntemlerinin Dağılımı

Kaynak:R.Ruiz, J.A. Vazquez-Rodriguez / European Journal of Operational Research 2010, p.9

Karma akış tipi çizelgeleme modellerinde, amaç fonksiyonu olarak teslim tarihine bağlı olan ortalama gecikme, maksimum gecikme ve geciken işlerin sayısı olabileceği gibi teslim tarihini dikkate almayan ortalama akış zamanı, akış zamanı ve en büyük bitiş zamanının (makespan) en küçüklenmesi gibi kriterler kullanılmıştır. (Şerifoğlu ve Ulusoy,2002)

Ruiz ve Roriguez'in (2010) tarama makalelerinde karma akış tipi çizelgeleme problemlerinde kullanılan amaç fonksiyonlarının dağılımı incelenmiştir. Buna göre yapılan çalışmaların %60'ı maksimum tamamlanma süresinin en küçüklenmesini içermektedir (Şekil 1.4). Ortalama tamamlanma süresi/akış süresinin ağırlıklı veya ağırlıksız olarak kullanıldığı modellerin her ikisinin toplamı ise çalışmaların %11'ini kapsamaktadır. Yine diğer amaç fonksiyonları ki, bunlar maliyet ilişkili spesifik amaç fonksiyonlarıdır, çalışmaların %10'unu kapsamaktadır. Bu tez çalışmasında ise literatürde de genellikle kullanılan maksimum tamamlanma süresinin en küçüklenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1.4 Karma Akış Tipi Çizelgeme Problemlerinde Amaç Fonksiyonlarının Dağılımı

Kaynak:R.Ruiz, J.A. Vazquez-Rodriguez / European Journal of Operational Research 2010, p.9

Karma akış tipi çizelgelemeyi kapsayan araştırmalar, genel olarak özdeş paralel tezgahlı problemler üzerine yoğunlaşmıştır. Choi ve Lee(2008) iki aşamalı modellerinde her aşamasında bir veya daha fazla özdeş tezgah olan üretim biriminde tezgahlara işlerin atanması ve atanan işlerin sıralanması üzerine çalışmışlardır. Amaç fonksiyonu olarak ise geciken iş sayısının en küçüklenmesini ele almışlardır. Çalışmada küçük boyutlu problemler için dal-sınır algoritması ile optimal çözüm önerirken büyük boyutlu problemler için altı heuristik algoritma önermişlerdir. Bu tez çalışmasında ise farklı olarak özdeş olmayan tezgahlar içeren iki aşamalı karma akış tipi üretimde tamamlanma süresinin en küçüklenmesi için matematiksel model geliştirilmiştir.

Rocha ve arkadaşları (2008) çalışmalarında özdeş olmayan paralel tezgahlarda iş sıralaması ve tezgaha bağlı olan hazırlık zamanlarını dikkate alan çizelgeleme problemini ele almışlardır. Bu çalışmadaki model, her bir işin teslim tarihi ve önemini belirten ağırlık katsayısını da içermektedir. Her bir işin teslim tarihindeki gecikme amaç fonksiyonunda işin önemine bağlı olarak bir ceza maliyeti oluşturmaktadır. Rocha ve arkadaşları (2008) çalışmalarında iki farklı karışık tamsayılı model sunarak dal-sınır algoritması ile optimal çözüm performanslarını karşılaştırmışlardır. İlk modelde atölye tipi çizelgelemede daha önce Manne (1960) tarafından önerilen modeli kullanırken ikinci modelde ise Wagner(1959) tarafından önerilen modeli temel almışlardır.

Ruiz ve Maroto (2006), karma akış tipi üretimde sıralamaya bağlı hazırlık zamanlarını ve tezgahta işlenebilirliğini (machine eligibility) dikkate alarak bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Daha sonra, Ruiz ve arkadaşları (2008) *n* adet işin olduğu *m* aşamalı özdeş olmayan paralel tezgahlı karma akış tipi üretimde karışık tam sayılı modelleme ve heuristik çözümler üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada, her iş her aşamada işlenmek zorunda olmayıp, iş sıralamasına bağlı hazırlık zamanları ve işlerin öncelik ilişkisine yer verilmiştir. Yine çalışmada, her tezgah her işi işleyememekte ve tezgahların boş olduğu başlangıç zamanları da(machine release date) problemde dikkate alınmıştır. Bu tez çalışmasında ise Ruiz ve arkadaşlarının çalışmaları, işlerin alt partilere ayrıştırılarak atanmasına yönelik olarak geliştirilmiştir.

Naseri ve Nia (2009), karma akış tipi üretim ortamında paralel partiler atamaya yönelik bir model geliştirmişlerdir(Hybrid flowshop with parallel batching-HFPB). Isıl işlem gibi büyük partiler halinde kitlesel üretim yapılan proseslerde bir grup işin aynı parti içinde işlenmesini sağlamışlardır. Farklı ürünlere ait partilerin karıştırılarak işlenmesi problemin karmaşıklığını arttırmaktadır. *m* aşamalı karma akış tipi ve uniform tezgah içeren üretim ortamında hazırlık sürelerini ihmal ederek tezgah kapasitelerine göre atama ve sıralama yapmışlardır. En büyük tamamlanma süresini en küçüklemeyi amaçlayan model için karışık tam sayılı model geliştirerek optimal çözüme yakın sonuçlar elde edebilmek için heuristik geliştirmişlerdir.

Haouari ve Hallah (1996), iki aşamalı karma akış tipi atölyede maksimum tamamlanma zamanını en küçüklemek üzere, benzetim tavlaması ve tabu arama ile çözüm sunmuşlardır. Bu metotlarla elde edilen çözümler, mevcut heuristik ile karşılaştırılmıştır. Tabu aramayı temel alan heuristik ile problemlerin %35'inde optimal çözümler elde edilmiştir.

Genoulaz (2000), n-iş ve m-aşamalı karma akış atölyesinde özdeş tezgahlar, öncelikli işler, zaman farkı(tezgah hazırlık zamanlarından veya taşıma sürelerinden dolayı oluşan) ve teslim tarihlerinin dikkate alındığı çizelgeleme problemi üzerine çalışmıştır. Maksimum gecikmeyi en küçüklemek üzere altı yeni heuristik önermiştir. Bu algoritmaların tutarlılığını ve performansını değerlendirmek üzere çeşitli deneyler sunmuştur.

Wang ve Tang (2007), karma akış tipi atölyede sonlu ara tampon stokların olduğu durum için tüm işlerin ağırlıklı tamamlanma zamanının toplamını en küçüklemeyi amaçlayan bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada tabu arama ile bir heuristik önermişlerdir. Bu herustik içinde, saçılma arama mekanizması ile arama prosedüründeki çeşitliliği arttırmışlar ve diğer bir yandan da kompleks bütün bir çizelge yerine ilk aşamada işlerin işleme sıralamasını içeren N iş için permütasyona yer vermişlerdir. Rassal olarak üretilen farklı yapıdaki örneklerle tabu arama heursitiğinin iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Figielska (2010), iki aşamalı karma akış atölyesinde her iki aşamada da yenilenebilir kaynakların olduğu durum için çalışma yapmıştır. Amaç fonksiyonunun tamamlanma zamanının en küçüklenmesi olduğu bu çalışmada lineer programlamadan faydalanılarak dört heuristik algoritma sunulmuştur. Bu algoritmaların performansları deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, önerilen algoritmaların kısa işlem süreleri ile iyi sonuçlar ürettiği gösterilmiştir.

Zhang ve arkadaşları (2005), ilk aşamasında *m* adet özdeş tezgah, ikinci aşamasında ise tek tezgah olan üretim biriminde çok sayıda işin alt partilere bölünerek atanması üzerine çalışmışlardır. En küçükleme kriteri olarak, işlerin ortalama tamamlanma süresini amaçlamışlardır. Problem için karışık tamsayılı lineer programlama (MIPL) formülasyonunun yanı sıra iki heuristik algoritma önermişlerdir. Bu tez çalışmasında ise her aşamasında iki tezgah olan iki aşamalı karma akış atölyesinde, sadece işlerin atanması yerine işlerin ardışık iş sıralamasını sağlayacak bir model üzerinde çalışılmıştır.

Fantahun ve Chen (2010), akış tipi üretimde hazırlık sürelerini dikkate alarak değişken büyüklüklerde alt partiler oluşturmak üzere çalışmışlardır. Optimal çözümün tespitinin zor olduğu bu problem tipi için karma bir genetik algoritma önermişlerdir.

2.6.2 Parti Bölme

Çok aşamalı üretim sistemlerinde parça üretimine yönelik olarak geliştirilmiş geleneksel çizelgeleme yöntemlerinde, problemi basitleştirici birçok varsayım kullanılmaktadır. Örneğin, üretim ortamında bir iş, tek bir partiyi oluşturan birçok özdeş parçadan oluşmasına rağmen ürünün bölünemez tek bir parti olduğu ve partinin bir üretim aşamasından diğer bir aşamaya aktarılmasına izin verilmediği varsayımı yapılır. Klasik yaklaşımlarda, her bir iş bir bütün olarak işlendiğinden öncül proseste işin tamamı tamamlanmadan işin sonraki proseste işlenmeye başlaması mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla, öncül proses sonunda tamamlanmayı bekleyen iş olmasına rağmen sonraki proseste tezgah boş kalmaktadır.

Parti bölme, belirli bir partiyi daha küçük alt partiler halinde üretme işlemidir. Aynı partinin küçük partilere bölünmesi ile partinin tamamının bir aşamadaki işlemi tamamlamadan ürünün alt partilerinin bir sonraki aşamaya gönderilmesi sağlanabilir. Böylelikle, diğer alt partiler öncül proseste işlenmekte iken sonraki prosese alt parti ataması mümkün olmaktadır. Ürün imalatının sonraki aşamada erken başlaması sağlanmaktadır. Parti bölme ile ürünün takip ettiği üretim aşamalarındaki işlemlerin zaman ekseninde üst üste bindirilmesine imkan tanır ve toplam akış süresi ile ara stok seviyeleri azalır. Bu yaklaşımda optimum alt parti büyüklüğü ve alt partilerin sıralanması karar değişkenleri olmaktadır.

Sonuç olarak parti bölme yaklaşımının faydaları şunlardır:

- Süreç içi envanter miktarının azalması
- Tedarik süresinin kısalması
- Çizelge/akış süresinin kısalması
- Kalitenin iyileştirilmesi.

Parti bölme işleminde iki durum söz konusudur(Baker 1997):

a) Öncelikli durum: Genellikle kullanılan ve işlere öncelik atanan durumdur. Böylece iki veya daha fazla iş, sınırlı üretim kaynaklarını kullanmak için rekabet haline girer. Öncelikli iş geldiğinde, işlenmekte olan parti durdurulur ve öncelikli olan parti işlenir. Kalan iş daha sonra tekrar işlenir.
b) Parti bölme: Üretim partisini küçük alt partilere ayrıştırarak ardışık tezgahlar üzerinde alt partilerin işlenmesidir. Belirli bir tezgahta işin tamamı bitmeden işin belirli bir bölümü bir sonraki operasyona aktarılır. Amaç işin çok sayıda iş istasyonundan daha hızlı bir şekilde geçmesinin sağlanmasıdır.

Temel parti bölme modeli, parti büyüklüğünün bilindiği tek işli akış atölyesi modelidir. İşin hızlı işlenmesini sağlamak için tamamlanma süresi en küçüklenmeye çalışılır. Amaç fonksiyonu farklı olsa da, işlerin tekil olarak tamamlanma sürelerinin en küçüklenmesi sistemin performansını iyileştirmektedir. Örneğin, n işli akış atölyesindeki çizelgeleme problemi için parti bölme uygulanmaksızın bir çizelge oluşturup daha sonra parti bölme yaklaşımını her iş için uygulamak işlerin tamamlanma zamanını düşürecektir.

2.6.2.1.Parti Bölme Problemlerinin Karakteristikleri

Parti bölme problemlerine yönelik analitik çalışmalar son yıllarda yapılmaya başlanmıştır. Parti bölme problemlerini analiz ederken dikkate alınabilecek çok sayıda faktör vardır. Üretim ortamındaki özellikler nedeniyle tanımlanan parti bölme probleminin özellikleri ve varsayımları değişebilir. Buna göre parti bölme problemini incelerken bilinmesi gereken temel kavramlar şunlardır:

Süreç Tipi (Akış Atölyesi/ İş Atölyesi/ Açık Atölye) : Ürünün izleyeceği rota süreç tipi ile doğrudan ilgidir. Bu nedenle parti bölme probleminin modellenmesi için kritik bir faktördür. Akış atölyesinde, ürünler ardışık sıralanmış tezgahların her birinde farklı bir işleme tabi tutulmaktadır. İş atölyesinde, ürünler farklı tezgahlarda farklı sıralarda işlem görmektedirler. Açık atölyede ise, üretim aşamaları arasında öncelik ilişkisi olmadığı için ürünler aşamalarda herhangi bir sıra dahilinde işlem görürler. Açık atölyede parti bölme çalışmaları sınırlı bir sayıdadır.

Tezgah Sayısı (m) : Çizelgeleme problemlerinin tümünde tezgah sayısı problemin karmaşıklığını ve çözülebilirliğini etkileyen unsurlardan biridir. Trietsch (1987), Vickson (1993), Baker (1993), Peres ve Laserre (1994), Çetinkaya (1994) ile Sriskandarajah Wagner (1995) iki tezgahlı atölyeler için çalışmalar yapmıştır. Glass ve arkadaşları (1992), Baker ve Jia (1993) ise üç tezgahlı atölyeyi dikkate almışlardır. *m* tezgahlı durum için Baker ve Pyke (1990), Kumar ve arkadaşları (2000), Yoon ve Ventura (2001), Buckhin ve Masin (2003) ile Liu'nun (2003) çalışmaları yer almaktadır.

İş Sayısı (Tek/Çok): Parti bölme problemlerinin çoğu tek işli sistemleri incelemektedir. (Baker ve Pyke 1990, Glass ve arkadaşları 1992, Kalir ve Sarin 2000, Sriskandarajah ve Wagner 1995, Kim ve Ha 2002, Buckhin ve Masin 2003, Chiu ve arkadaşları 2004) Çok işli sistemleri inceleyen çalışmalar sınırlıdır. (Baker 1993, Kumar ve arkadaşları 2000, Yoon ve Ventura 2001)

Alt Parti Sayısı (n): Literatürdeki çalışmaların çoğunda alt parti sayısı önceden tanımlanmaktadır. İncelenen bazı modellerde ise üretim modelindeki kapasite kısıtları alt parti sayısı üzerinde üst sınır oluşturmaktadır. (Chiu ve arkadaşları 2004)

Kesikli ya da Sürekli Alt Parti Büyüklüğü: Üretilen ürün özelliklerine göre alt parti büyüklüğü kesikli veya sürekli değerler alabilmektedir. Kesikli yani tamsayıların kullanıldığı problem tamsayılı doğrusal model ile ifade edilebilir. Ancak tamsayı kısıtı problemin çözüm karmaşıklığını arttırmaktadır.

Değişken, Tutarlı ya da Eşit Alt Partiler: Ardışık tezgahlar arasında ilerleyen alt parti büyüklükleri farklı ise modelde değişken alt partili çözümden bahsedilir. Değişken alt partili durum genel durumu ifade etmektedir (Baker ve Jia 1993). Üretim ortamı ya da çözüm karmaşıklığı nedeniyle tutarlı ya da eşit alt partili modeller de incelenebilir. Tutarlı alt parti durumunda, ardışık tezgahlardaki alt parti büyüklüğü değişmemektedir. Tutarlı alt partiler konusunda çalışmalar yapılmıştır.(Baker ve Pyke 1990, Glass ve arkadaşları 1993, Vickson 1993, Peres ve Laserre 1994, Sriskandarajah ve Wagner 1995, Kumar ve arkadaşları 2000) Eşit alt partilerde ise, talep eşit alt partilere ayrılır. Eşit alt parti konusunda yapılan çalışmalar Baker(1993), Kalir ve Sarin (1999), Yoon ve Ventura (2001) tarafından yapılmıştır.

Değişken parti büyüklükleri ile partileri ayrıştırılmasında optimal çözümü bulmak küçük boyutlu problemler için bile zor olmaktadır. Defersha ve Chan (2008) tarafından akış tipi atölyede hazırlık zamanları ve değişken alt parti büyüklükleri ile parti bölmeyi (lot streaming with variable sublot) sağlayan bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada n adet iş ve m adet tezgahtan oluşan akış tipi atölyede en büyük tamamlanma süresinin en küçüklenmesi amaçlanmıştır. Modelin çözümü için, karışık tamsayılı lineer programlama (MIPL) ve bir karma genetik algoritma önerilmiştir.

Beklemeli Boşluklu ya da Boşluksuz Durum: Üretim ortamındaki özelliklere bağlı olarak bazı sistemlerde tezgahın boş beklemesi istenmez. Bu durumda bir ürün işlenmeye başlandığında alt partiler arasında boşluk olmaksızın bir bütün olarak işlenmelidir. Alt partiler arasındaki herhangi bir boşluk sürecin karlılığında azalmaya sebep olur. Bu durum parti bölme problemlerinde boşluksuz durum olarak ifade edilir. Böyle bir kısıt olduğunda alt partiler arasındaki boşluğu engellemek için alt partinin başlama süresi ertelenebilir. Alt partiler ya da ürünler arasında boşluğun izin verildiği durum ise beklemeli boşluklu durum olarak ifade edilir.

Amaç Fonksiyonu (Zamana Bağlı/ Maliyete Bağlı): Parti bölme problemleri amaç fonksiyonlarına bağlı olarak ikiye ayrılabilir: Zamana bağlı modeller / maliyete bağlı modeller. Zamana bağlı modellerde toplam tamamlanma zamanı, ağırlıklı toplam zaman, en büyük gecikme zamanının en küçüklenmesi vb. amaç fonksiyonları dikkate alınır. Maliyete bağlı modellerde ise toplam maliyeti en küçükleyen alt parti sayısı ve parti büyüklükleri belirlenir. Toplam maliyet fonksiyonu bileşenleri akış, hazırlık, taşıma, elde tutma maliyetleri olabilir.

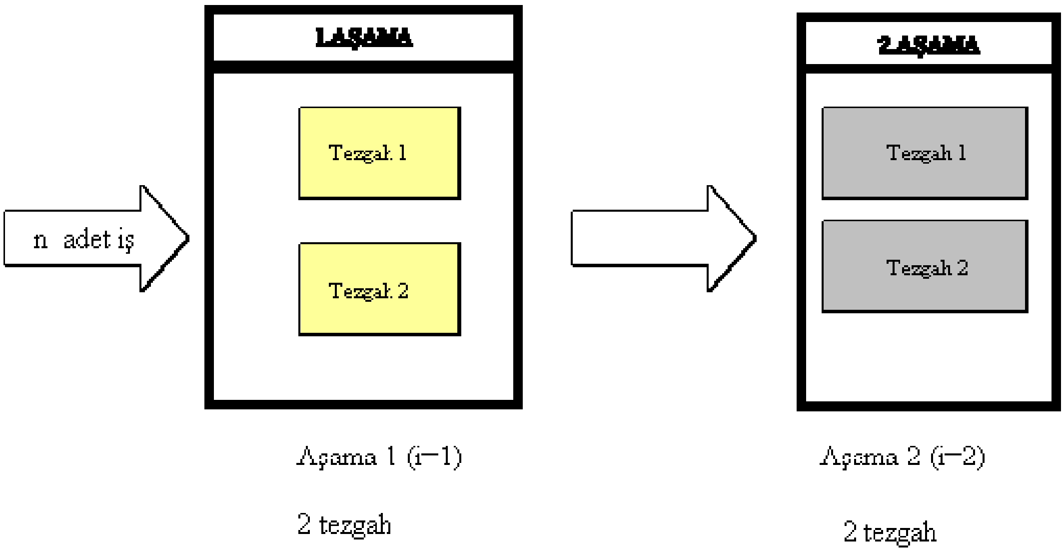
Hazırlık İşlemi: Hazırlık işlemi ayrı bir işlem olarak değerlendirilebileceği gibi bazı üretim sistemlerinde işlem süresinin içine dahil edilebilir. Birleşik ve ayrık olmak üzere iki tip hazırlık işlemi türü tanımlanabilir. Birleşik hazırlık durumunda, hazırlık işleminin yapılabilmesi için işlenecek alt partinin tezgahın yanına gelmiş olması gerekir. Örneğin, ürün üzerinde ölçümler yapan ya da ürüne göre ayar gerektiren durumlarda tercih edilir. Ayrık hazırlık zamanlarında ise, tezgahın uygun olması hazırlık işleminin yapılabilmesi için yeterlidir.

Çok ürünü/işi içeren parti bölme problemlerinin amacı, her bir ürün partisine ait alt parti büyüklükleri ile bu alt partilerin imalat aşamasındaki çizelgelenmesinin eş zamanlı olarak belirlenmesidir. Eş zamanlı çözüm ihtiyacı problemin giderek karmaşık bir hal almasına neden olmaktadır.

3.MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

Çalışmanın bu bölümünde otomotiv yan sanayi olarak çalışan bir işletmedeki üretim sistemi göz önüne alınarak karma akış tipi üretim sistemindeki bir çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Bu üretim sisteminde, delik delme işlemleri ve taşlama işlemlerinin yapıldığı iki ayrı aşamada ürünler işlenmektedir.



Şekil 3.1 Modelin Tanımlanması

İlk aşamada delik delme operasyonu için iki ayrı paralel tezgah bulunmaktadır. Bu tezgahların proses süreleri ürün tipine bağlı olarak farklılık göstermektedir. İlk aşamada delik delme işlemi tamamlanan yarı mamuller, ikinci aşamadaki taşlama operasyonunda işlenirler. İkinci aşamadaki iki tezgah da yine özdeş olmayan paralel tezgahlardır. Tezgahların teknik özelliklerindeki farklılıklardan dolayı her ürün her tezgahta işlenememektedir. Dolayısıyla modelde tezgahların serbesti (machine eligibility) matrisine yer verilmektedir. Her iş her aşamada işlem görmek zorundadır. İkinci aşamada farklı ürün gruplarından ürünlerin ardışık işlenmesi hazırlık işlemlerini ortaya çıkarmaktadır. Şöyle ki farklı ürünlerin işlenmesi, farklı makine yağları ile yapıldığından tezgah yağının değiştirilmesi hazırlık zamanının artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle problem, sıralamaya bağlı hazırlık zamanlarını içermektedir.

Problem *n* adet işin iki aşamalı karma akış tipi üretimde tamamlanma süresinin en küçüklenmesini içermektedir.

Yukarıda açıklanan model aşağıdaki varsayımlar ile tanımlanmıştır.

1. Tüm işler ve tezgahlar başlangıç zamanında üretime hazırdır.
2. Her iş her aşamada işlenmek zorundadır.
3. Her bir tezgah aynı anda en fazla bir işi işleyebilir.
4. Her bir iş aynı anda en fazla bir tezgahta işlenebilir.
5. İlk aşamada farklı işler için hazırlık süreleri aynıdır. İkinci aşama için hazırlık süresi iş sıralamasına bağlıdır. Farklı tip yağ ile işlenen işlerin partileri aynı makineye atandığında uzun hazırlık sürelerini gerektirmektedir.
6. Hazırlık işlemi işin tezgaha gelmesi ile başlar.
7. Her tezgah için ilk iş atamasından sonra kısa bir başlangıç/ısınma kaybı oluşmaktadır.
8. Her iş tezgahların teknik özelliklerindeki farklılıktan dolayı sadece belirli tezgahlarda işlem görebilmektedir.
9. İşler arasında öncelik sıralaması yoktur.
10. Birim işlem süreleri ve hazırlık süreleri belirlidir.
11. Tezgahların teknik özelliklerindeki farklılıktan dolayı işlem süreleri işlere göre farklıdır.
12. Her bir iş için dönem içindeki toplam talep belirlidir.
13. Tezgah arızaları ihmal edilmiştir.
14. Tezgahlar arası taşıma zamanı ihmal edilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Yığın Üretim Modeli

Bu çalışmada ilgili problem için öncelikle bir matematiksel model geliştirilmiş ve karışık tamsayılı programlama ile modele optimal çözüm geliştirilmiştir. Ruiz ve arkadaşlarının (2008) makalesinden esas alınarak geliştirilen matematiksel model ve terminoloji aşağıdaki gibidir.

Karar değişkenleri,

$$x_{iljk} = \begin{cases} 1, & i\text{.aşamadaki } l\text{.tezgahta } j \text{ işinden sonra } k \text{ işi atanmışsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

C_{ij} : i.aşamada j işinin tamamlanma zamanı

$C_{\max}$: maksimum tamamlanma zamanı

Diğer tanımlamalar ve notasyonları,

s_{iljk} : i.aşamada l tezgahında j işinden sonra k işini işlemek için gerekli olan hazırlık süresi

p_{ilj} : j işinin i.aşamadaki l tezgahında birim proses zamanı

J : N adet işin kümesi $J = \{0,1,2,...N\}$

E_{ij} : i.aşamada j işini işleyebilen tezgahların kümesi

G_{il} : i.aşamadaki l tezgahında işlenebilen işler kümesi $(G_{il} \subseteq J)$

M_i : i.aşamadaki tezgahların kümesi

V: Yeterince büyük pozitif bir tamsayı

olmak üzere, amaç fonksiyonu;

$$MinC_{\max} \tag{3.1}$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=0, j\neq k}^{N} \sum_{l \in E_{ij} \cap E_{ik}} x_{iljk} = 1 \qquad \forall i,k \tag{3.2}$$

$$\sum_{j=1, j\neq k}^{N} \sum_{l \in E_{ij} \cap E_{ik}} x_{ilkj} \leq 1 \qquad \forall i,k \tag{3.3}$$

$$\sum_{\substack{h\neq j \\ h\neq k \\ h\in\{G_{il},0\}}} x_{ilhj} \geq x_{iljk} \qquad \begin{array}{l} \forall i,j,k \\ j\neq k \\ l \in E_{ij} \cap E_{ik} \end{array} \tag{3.4}$$

$$\sum_{l \in E_{ij} \cap E_{ik}} \left(x_{iljk} + x_{ilkj} \right) \leq 1 \qquad \begin{array}{l} \forall i, j, k \\ j \neq k \\ k = j+1, \ldots n \end{array} \tag{3.5}$$

$$\sum_{k \in G_{il}} x_{il0k} \leq 1 \qquad \forall i, l \in M_i \tag{3.6}$$

$$C_{i0} = 0 \qquad \forall i \tag{3.7}$$

$$C_{ik} + V(1 - x_{iljk}) \geq C_{ij} + s_{iljk} + p_{ilk} \qquad \begin{array}{l} \forall k, \\ i = 1, \\ j \neq k, \\ l \in E_{ik}, \\ j \in \{G_{il}, 0\} \end{array} \tag{3.8}$$

$$C_{ik} + V(1 - x_{iljk}) \geq C_{(i-1)k} + s_{iljk} + p_{ilk} \qquad \begin{array}{l} \forall k, \\ i = 2, \\ j \neq k, \\ l \in E_{ik}, \\ j \in \{G_{il}, 0\} \end{array} \tag{3.9}$$

$$C_{\max} \geq C_{2j} \qquad \forall j \tag{3.10}$$

$$\begin{array}{l} x_{iljk} \in \{0,1\} \\ j \in \{N, 0\} \\ k \in \{N\} \\ j \neq k \\ l \in E_{ij} \cap E_{ik} \end{array} \tag{3.11}$$

(3.12)

$$C_{ij} \geq 0 \qquad \forall j \in N, \; \forall i$$

Modelin amaç fonksiyonu (3.1) en büyük tamamlanma süresinin en küçüklenmesidir. (3.2) nolu kısıt ile her aşamada her bir işin öncesinde sadece bir iş atanması sağlanır. Burada sadece mümkün olabilecek değişkenlerin kümesi kısıta dâhil edilmiştir. Her bir aşamadaki tezgah için "0" olarak bir kukla iş başlangıç olarak dikkate alınmıştır. (3.3) nolu kısıt ile benzer şekilde her aşamada her bir işi takip eden en fazla bir iş olması sağlanmıştır. Kısıt (3.4) ile eğer bir aşamadaki bir tezgaha iş atanmışsa bu işin öncesinde aynı tezgaha atanmış başka bir iş olmasını sağlanmıştır. Bu şekilde tezgahlara tutarlı ardışık bir iş ataması yapılabilir. Kısıt (3.5) ile çapraz öncül işlerin atanması engellenmiştir. (3.6) nolu kısıt, her bir aşamada her bir tezgahta başlangıç işi olarak en fazla kukla bir işin atanmasını sağlamaktadır. (3.7) nolu kısıt ile başlangıçta her aşamadaki kukla işin tamamlanma süresinin sıfır olması sağlanmıştır. (3.8) nolu kısıt ile ilk aşamada işlerin tamamlanma süreleri oluşturulmuştur. Benzer şekilde (3.9) nolu kısıt ile ilk aşamadan sonraki aşamada işlerin tamamlanma süreleri belirlenmiştir. (3.10) nolu kısıt ile en büyük tamamlanma süresi tanımlanmış ve son olarak (3.11) ve (3.12) nolu kısıtlar ile karar değişkenleri tanımlanmıştır.

3.2.2 Parti Bölme Modeli

Bu çalışma kapsamında, karışık tamsayılı programlama ile çözüm elde edilen yığın model daha da geliştirilmiştir. Bunun için, partilerin ayrıştırılması ile C_{max} süresinin daha da kısaltılması amaçlanmıştır.

Geliştirilen bu model için ilk modele aşağıdaki varsayımlar eklenmiştir.

1. İlgili proseste alt parti büyüklüğü olarak taşıma büyüklüğü dikkate alınmıştır. Eşit alt partiler uygulandığından talep eşit alt partilere ayrılır.
2. Alt parti sayısı öncesinde tanımlanmıştır.
3. Alt parti büyüklüğü, ürün sayısı cinsinden olduğu için kesiklidir.
4. Müşteri talebi taşıma/kasa büyüklüğünün tam katları olarak gelmektedir.
5. Her bir iş alt parti büyüklüğünü sağlayacak alt partilere bölünebilir.

6. Her bir parti aşamalar arası aynı parti büyüklüğü ile işlenmeye devam edecektir.
7. Aynı işin alt partileri arasında oldukça kısa süren kalite kontrol için hazırlık süresi tanımlanmıştır.

Bu varsayımlar doğrultusunda parti bölmeyi sağlayacak model için geliştirilen notasyon ve matematiksel model aşağıda sunulmuştur.

D_j :j işinin dönemdeki talep miktarı

a: En küçük alt parti büyüklüğü

A_j :j işinin bölünebileceği maksimum parti sayısı $A_j = \left\lfloor \frac{D_j}{a} \right\rfloor$

p_{ilj} :j işinin i.aşamadaki l tezgahında birim proses zamanı

E_{ij} :i.aşamada j işini işleyebilen tezgahlar kümesi

G_{il} :i.aşamadaki l tezgahında işlenebilen işler kümesi $\left(G_{il} \subseteq J\right)$

s_{iljk} :i.aşamada l tezgahında j işinden sonra k işini işleyebilmek için gereken hazırlık süresi

$$x_{iljmkn} = \begin{cases} 1, & \begin{array}{l} i.\ \text{aşamada } l \text{ makinesine } j \text{ işinin } m.\ \text{alt partisinden} \\ \text{sonra } k \text{ işinin } n.\ \text{alt partisi atanmışsa} \end{array} \\ 0, & \begin{array}{l} i.\ \text{aşamada } l \text{ makinesine } j \text{ işinin } m.\ \text{alt partisinden} \\ \text{sonra } k \text{ işinin } n.\ \text{alt partisi atanmamışsa} \end{array} \end{cases}$$

C_{ijm} :i.aşamada j işinin m. alt partisinin tamamlanma zamanı

$C_{\max}$:maksimum tamamlanma zamanı

$$z_{iljm} = \begin{cases} 1, \text{eger} \ldots y_{iljm} > 0 \\ 0, \text{eger} \ldots y_{iljm} = 0 \end{cases}$$

y_{iljm} : i.aşamada l tezgahında işlenen j işinin m. alt partisinin parti büyüklüğü

V,U: Yeterince büyük pozitif bir tamsayı $\left(U \geq D_k\right)$

S_j :j işinin alt partilerinin kümesi $S_0 = \{0\}$ $\quad S_j = \{1, 2, \ldots A_j\}$

J :N adet işin kümesi $J = \{0, 1, 2, \ldots N\}$

M_i :i.aşamadaki tezgahların kümesi

Matematiksel model aşağıdaki gibi geliştirilmiştir.

$$Min \quad C_{\max} \tag{3.13}$$

$$\sum_{l \in E_{ij} \cap E_{ik}} \sum_{j \in J} \sum_{m \in S_j} x_{iljmkn} = \frac{1}{a} \sum_{l \in E_{ij} \cap E_{ik}} y_{ilkn} \qquad \forall i,\ k \in J/\{0\},\ n \in S_k \tag{3.14}$$

$$\sum_{l \in E_{ij} \cap E_{ik}} \sum_{j \in J/\{0\}} \sum_{m \in S_j} x_{ilknjm} \le 1 \qquad \forall i,\ k \in J,\ n \in S_k \tag{3.15}$$

$$\sum_{h \in G_{il}} \sum_{t \in S_h} x_{ilhtjm} \ge x_{iljmkn} \qquad \forall i,\ j \in J/\{0\},\ m \in S_j,\ k \in J/\{0\},\ n \in S_k\ l \in E_{ij} \cap E_{ik} \tag{3.16}$$

$$\sum_{l \in E_{ij} \cap E_{ik}} \left(x_{iljmkn} + x_{ilknjm} \right) \le 1 \qquad \forall i,\ j \in J/\{0\},\ m \in S_j,\ k = j+1,..N,\ n \in S_k, \tag{3.17}$$

$$\sum_{k \in G_{il}/\{0\}} \sum_{n \in S_k} x_{il00kn} <= 1 \qquad \forall i,\ l \in M_i \tag{3.18}$$

$$C_{i00} = 0 \qquad \forall i \tag{3.19}$$

$$C_{ikn} + V(1 - x_{iljmkn}) \geq C_{ijm} + s_{iljk} + p_{ilk} y_{ilkn} \qquad \begin{array}{l} i = 1, \\ k \in J/\{0\}, \\ n \in S_k, \\ l \in E_{ik}, \\ j \in G_{il}, \\ m \in S_j \end{array} \tag{3.20}$$

$$C_{ikn} + V(1 - x_{iljmkn}) \geq C_{ijm} + s_{iljk} + p_{ilk} y_{ilkn} \qquad \begin{array}{l} i = 2, \\ k \in J/\{0\}, \\ n \in S_k, \\ l \in E_{ik}, \\ j \in G_{il} \\ m \in S_j \end{array} \tag{3.21}$$

$$C_{ikn} + V(1 - x_{iljmkn}) \geq C_{(i-1)kn} + s_{iljk} + p_{ilk} y_{ilkn} \qquad \begin{array}{l} i = 2, \\ k \in J/\{0\}, \\ n \in S_k, \\ l \in E_{ik}, \\ j \in G_{il}, \\ m \in S_j \end{array} \tag{3.22}$$

$$C_{\max} \geq C_{2jm} \qquad \begin{array}{l} \forall j \in J, \\ m \in S_j \end{array} \tag{3.23}$$

$$C_{2jm} > C_{1jm} \qquad \begin{array}{l} j \in J, \\ m \in S_j \end{array} \tag{3.24}$$

$$\sum_{l \in E_{ij}} \sum_{m \in S_j} y_{iljm} = D_j \qquad \begin{array}{l} \forall i, \\ j \in J \end{array} \tag{3.25}$$

$$y_{iljm} \geq a\ z_{iljm} \qquad \begin{array}{l} \forall i, \\ j \in J/\{0\}, \\ m \in S_j \\ l \in E_{ij} \end{array} \tag{3.26}$$

$$-z_{iljm} + x_{iljmkn} \le 0 \qquad \begin{array}{l} \forall i, \\ j \in J, \\ m \in S_j, \\ k \in J/\{0\}, \\ n \in S_k, \\ l \in E_{ik} \cap E_{ij} \end{array} \tag{3.27}$$

$$-z_{ilkn} + x_{iljmkn} \le 0 \qquad \begin{array}{l} \forall i, \\ j \in J, \\ m \in S_j, \\ k \in J/\{0\}, \\ n \in S_k, \\ l \in E_{ik} \cap E_{ij} \end{array} \tag{3.28}$$

$$y_{iljm} \le Uz_{iljm} \qquad \begin{array}{l} \forall i, \\ j \in J, \\ m \in S_j, \\ l \in E_{ij} \end{array} \tag{3.29}$$

$$\sum_{l \in E_{ij}} z_{iljm} \le 1 \qquad \begin{array}{l} \forall i, \\ j \in J, \\ m \in S_j, \end{array} \tag{3.30}$$

$$\begin{array}{l} x_{iljmkn} \in \{0,1\} \\ j \in J \\ k \in J \\ l \in E_{ij} \cap E_{ik} \\ y_{iljm} \in R \\ z_{iljm} \in \{0,1\} \end{array} \tag{3.31}$$

Modelin amaç fonksiyonu (3.13) en büyük tamamlanma süresinin en küçüklenmesidir. (3.14) nolu kısıt ile her aşamada her bir işin her bir alt partisinin öncesinde parti sayısı kadar bir alt parti atanması sağlanır. (3.15) nolu kısıt ile her aşamada her bir işin her alt partisini takip eden en fazla bir iş olması sağlanmıştır. Kısıt (3.16) ile eğer bir aşamadaki bir tezgaha bir işin alt partisi atanmışsa bu alt partinin öncesinde aynı tezgaha atanmış başka bir alt parti olması sağlanmıştır. Bu şekilde tezgahlara ardışık bir atama yapılabilir. Kısıt (3.17) ile çapraz öncül alt partilerin atanması engellenmiştir. (3.18) nolu kısıt, her bir aşamada her bir tezgahta başlangıç ataması olarak kukla işin en fazla bir alt partisinin atanmasını mümkün kılar. (3.19) nolu kısıt ile başlangıçta her aşamadaki kukla işin alt partisinin tamamlanma süresinin sıfır olması sağlanmıştır. (3.20) nolu kısıt ile ilk aşamada işlerin alt partilerinin tamamlanma süreleri oluşturulmuştur. Benzer şekilde (3.21) nolu kısıt ile ikinci aşamada işlerin alt partilerinin tamamlanma süreleri belirlenmiştir. (3.22) nolu kısıt ikinci aşamada alt partilerin tamamlanma zamanının ilk aşamada tamamlana zamanına göre belirlenmesini sağlar. Bu kısıt ile ilk aşamada tamamlanmayan bir alt partinin sonraki aşamaya geçmesi engellenmiş olur. (3.23) nolu kısıt ile en büyük tamamlanma süresi tanımlanmış ve (3.24) nolu kısıt ile ikinci aşamadaki tamamlanma süresinin ilk aşamadan büyük olması sağlanır. (3.25) nolu kısıt ile her bir işin alt partilerinin işin talep miktarı kadar atanması sağlanır. (3.26) nolu kısıt ile her bir işin alt partisi atanmışsa en az parti büyüklüğü kadar olması sağlanır. (3.27) ve (3.28) nolu kısıtlar her aşamada her işin her alt partisinin iş ataması yapıldıysa yani x karar değişkeni ile atama yapıldıysa z karar değişkeninin de atama için değer alması sağlanır. (3.29) nolu kısıt ile her bir aşamada her bir işin parti büyüklüğü belirlenmişse ilgili ikili değişkenin de değer alması sağlanır(eğer $y>0$ ise $z=1$ olur). (3.30) nolu kısıt ile her aşamada her bir işin her alt partisinin en fazla bir tezgaha atanması sağlanır. Son olarak (3.31) nolu kısıt ile karar değişkenleri tanımlanmıştır.

3.2.2.1 Parti Bölme Modelinin Akış Tipi Üretim Ortamına Uyarlanması

Parti bölme ile geliştirilen modelin akış tipi üretim ortamında sınanması için her iki aşamada da paralel tezgahlar yerine tek tezgahlı durum değerlendirilmiştir. Bu durumda tüm işler her bir aşamadaki tezgahta işlenmek zorunda olup model özdeş olmayan tezgahlardan oluşan akış tipi üretim ortamında çizelgeleme problemi şekline dönüşmüştür.

Özdeş olmayan tezgahları içeren akış tipi üretim ortamındaki bu problem için yine aşağıdaki model geliştirilmiştir.

Matematiksel model aşağıdaki gibi geliştirilmiştir.

$$Min \quad C_{\max} \tag{3.32}$$

$$\sum_{l \in E_{ij} \cap E_{ik}} \sum_{j \in J} \sum_{m \in S_j} x_{iljmkn} = \frac{1}{a} \sum_{l \in E_{ij} \cap E_{ik}} y_{ilkn} \qquad \forall i, \; k \in J/\{0\}, \; n \in S_k \tag{3.33}$$

$$\sum_{l \in E_{ij} \cap E_{ik}} \sum_{j \in J/\{0\}} \sum_{m \in S_j} x_{ilknjm} \leq 1 \qquad \forall i, \; k \in J, \; n \in S_k \tag{3.34}$$

$$\sum_{h \in G_{il}} \sum_{t \in S_h} x_{ilhtjm} \geq x_{iljmkn} \qquad \forall i, \; j \in J/\{0\}, \; m \in S_j, \; k \in J/\{0\}, \; n \in S_k, \; l \in E_{ij} \cap E_{ik} \tag{3.35}$$

$$\sum_{l \in E_{ij} \cap E_{ik}} \left(x_{iljmkn} + x_{ilknjm} \right) \leq 1 \qquad \forall i, \; j \in J/\{0\}, \; m \in S_j, \; k = j+1,..N, \; n \in S_k, \tag{3.36}$$

$$\sum_{k \in G_{il}/\{0\}} \sum_{n \in S_k} x_{il00kn} <= 1 \qquad \forall i, \; l \in M_i \tag{3.37}$$

$$C_{i00} = 0 \qquad \forall i \tag{3.38}$$

$$C_{ikn} + V(1 - x_{iljmkn}) \geq C_{ijm} + s_{iljk} + p_{ilk} y_{ilkn} \qquad \begin{array}{l} i = 1, \\ k \in J/\{0\}, \\ n \in S_k, \\ l \in E_{ik}, \\ j \in G_{il}, \\ m \in S_j \end{array} \tag{3.39}$$

$$C_{ikn} + V(1 - x_{iljmkn}) \geq C_{ijm} + s_{iljk} + p_{ilk} y_{ilkn} \qquad \begin{array}{l} i = 2, \\ k \in J/\{0\}, \\ n \in S_k, \\ l \in E_{ik}, \\ j \in G_{il} \\ m \in S_j \end{array} \tag{3.40}$$

$$C_{ikn} + V(1 - x_{iljmkn}) \geq C_{(i-1)kn} + s_{iljk} + p_{ilk} y_{ilkn} \qquad \begin{array}{l} i = 2, \\ k \in J/\{0\}, \\ n \in S_k, \\ l \in E_{ik}, \\ j \in G_{il}, \\ m \in S_j \end{array} \tag{3.41}$$

$$C_{\max} \geq C_{2jm} \qquad \begin{array}{l} \forall j \in J, \\ m \in S_j \end{array} \tag{3.42}$$

$$C_{2jm} > C_{1jm} \qquad \begin{array}{l} j \in J, \\ m \in S_j \end{array} \tag{3.43}$$

$$\sum_{l \in E_{ij}} \sum_{m \in S_j} y_{iljm} = D_j \qquad \begin{array}{l} \forall i, \\ j \in J \end{array} \tag{3.44}$$

$$y_{iljm} \geq a\ z_{iljm} \qquad \begin{array}{l} \forall i, \\ j \in J/\{0\}, \\ m \in S_j \\ l \in E_{ij} \end{array} \tag{3.45}$$

$$-z_{iljm} + x_{iljmkn} \leq 0 \qquad \begin{aligned} &\forall i, \\ &j \in J, \\ &m \in S_j, \\ &k \in J/\{0\}, \\ &n \in S_k, \\ &l \in E_{ik} \cap E_{ij} \end{aligned} \tag{3.46}$$

$$-z_{ilkn} + x_{iljmkn} \leq 0 \qquad \begin{aligned} &\forall i, \\ &j \in J, \\ &m \in S_j, \\ &k \in J/\{0\}, \\ &n \in S_k, \\ &l \in E_{ik} \cap E_{ij} \end{aligned} \tag{3.47}$$

$$y_{iljm} \leq U z_{iljm} \qquad \begin{aligned} &\forall i, \\ &j \in J, \\ &m \in S_j, \\ &l \in E_{ij} \end{aligned} \tag{3.48}$$

$$\sum_{l \in E_{ij}} z_{iljm} \leq 1 \qquad \begin{aligned} &\forall i, \\ &j \in J, \\ &m \in S_j, \end{aligned} \tag{3.49}$$

$$\begin{aligned} &x_{iljmkn} \in \{0,1\} \\ &j \in J \\ &k \in J \\ &l \in E_{ij} \cap E_{ik} \\ &y_{iljm} \in R \\ &z_{iljm} \in \{0,1\} \end{aligned} \tag{3.50}$$

3.2.2.2 Parti Bölme Modelinin Özdeş Tezgahlara Uyarlanması

Parti bölme modeli üzerinde özdeş tezgahların etkisini incelemek üzere yine aynı modelin ışığında her işin her tezgahtaki işlem sürelerinin eşit olduğu varsayımı yapılmıştır. Bu durumda özdeş olan tezgahlar için parti bölme modeli kullanılmıştır.

3.3 Uygulama

Bu kısımda, iki aşamalı karma akış tipi üretim ortamında, açıklanan yöntemler temel alınarak verilerin tanımlanması, modellerin MPL'de oluşturulması ve farklı modellerin doğruluğunun sınanmasına yer verilmiştir.

3.3.1 Verilerin Tanımlanması

İki aşamalı karma akış tipi üretim ortamında her bir aşamada iki tezgah olan durum incelenmiştir. Buna göre, tezgahların teknik özellikleri birbirinden farklı olduğu için her işin her tezgahta işlenmesi mümkün olmamaktadır. Model özdeş olmayan tezgahları içermektedir. İş-tezgah eşleşmesinin gösterildiği iş-tezgah serbesti matrisi Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 İş-Tezgah Serbesti Matrisi (Machine Eligibility Matrix)

	1.AŞAMA	2.AŞAMA
Tezgah 1	0,1,2,3,4,5	0,1,2,3,4,5
Tezgah 2	0,1,2,3,5	0,1,3,4,5

Tezgahların teknik özelliklerindeki farklılıktan dolayı, işlerin tezgahlardaki birim işlem süreleri de farklılık göstermektedir. İş-tezgah serbesti matrisini de dikkate alarak işlerin tezgahlardaki birim işlem süreleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 İş-Tezgah Birim Parça İşlem Süreleri

	1.AŞAMA		2.AŞAMA	
	Tezgah 1	Tezgah 2	Tezgah 1	Tezgah 2
İş-0	0	0	0	0
İş-1	1	1	1	1
İş-2	2	2	2	-
İş-3	3	2	2	2
İş-4	1	-	3	1
İş-5	1	1	1	1

İkinci aşamada, farklı ürün gruplarından ürünlerin ardışık işlenmesi hazırlık işlemlerini ortaya çıkarmaktadır. Şöyle ki, farklı ürünlerin işlenmesi, farklı makine yağları ile yapıldığından tezgah yağının değiştirilmesi hazırlık zamanının artmasına neden olmaktadır. Modelde yer alan sıralamaya bağlı hazırlık zamanları Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 İş Sıralamasına Bağlı Hazırlık Zamanları

	2.AŞAMA					
	İş-0	İş-1	İş-2	İş-3	İş-4	İş-5
İş-0	1	1	1	1	1	1
İş-1	-	-	200	200	100	200
İş-2	-	200	-	100	200	100
İş-3	-	200	100	-	200	100
İş-4	-	100	200	200	-	200
İş-5	-	200	100	100	200	-

Son olarak belirli bir dönem içindeki işlerin müşteri talepleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Dönem İçindeki Müşteri Talepleri

	İş-0	İş-1	İş-2	İş-3	İş-4	İş-5
Talep	0	200	200	200	200	600

Yöntem bölümünde açıklandığı üzere, modelin parti bölme amacıyla geliştirilmesinde yine ayı veri setinden yararlanılmıştır. Bu modelde işlerin partilere ayrıştırılmasının sağlanması için en küçük parti büyüklüğü 200 adet olarak alınmıştır.

Parti bölme ile geliştirilen modelin akış tipi üretim ortamında sınanması için aynı veri seti ile her iki aşamada da paralel tezgahlar yerine tek tezgahlı durum değerlendirilmiştir. Bu durumda tüm işler her bir aşamadaki tezgahta işlenmek zorundadır. Her aşamada tek tezgahın olduğu bu model için veriler Çizelge 3.6 ‘da gösterilmiştir. Bu durumda model özdeş olmayan tezgahlardan oluşan akış tipi üretim ortamında çizelgeleme problemi şekline dönüşmüştür.

Çizelge 3.5 Her Aşamada Tek Tezgahlı Model için İşlem Süreleri

	1.AŞAMA	2.AŞAMA
	Tezgah 1	Tezgah 1
İş-0	0	0
İş-1	1	1
İş-2	2	2
İş-3	3	2
İş-4	1	3
İş-5	1	1

Parti bölme modeli üzerinde özdeş tezgahların etkisini incelemek için ise yine aynı modelin ışığında her işin her tezgahtaki işlem sürelerinin eşit olduğu varsayımı yapılmıştır. Tezgahları üretim hızlarının eşit olduğu durumda modeli incelemek üzere Çizelge 3.7’ deki işlem süreleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.6 Özdeş Tezgahlar için İşlem Süreleri

	1.AŞAMA		2.AŞAMA	
	Tezgah 1	Tezgah 2	Tezgah 1	Tezgah 2
İş-0	0	0	0	0
İş-1	1	1	1	1
İş-2	1	1	1	-
İş-3	1	1	1	1
İş-4	1	-	1	1
İş-5	1	1	1	1

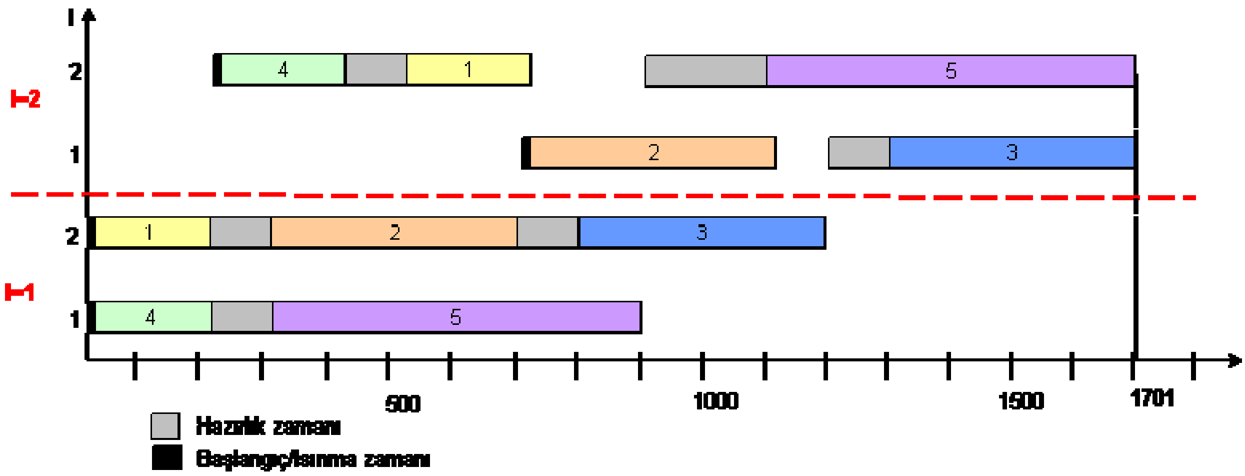
3.3.2 Modelin MPL Programında Oluşturulması

Üretim yığın modelinin MPL programı ile yazılımı tanımlanan veriler kapsamında Ek-1' de verilmiştir.

Parti bölme modellerinin MPL programı ile yazılımı Ek-3'de verilmiştir.

3.3.3 Model Sonuçları

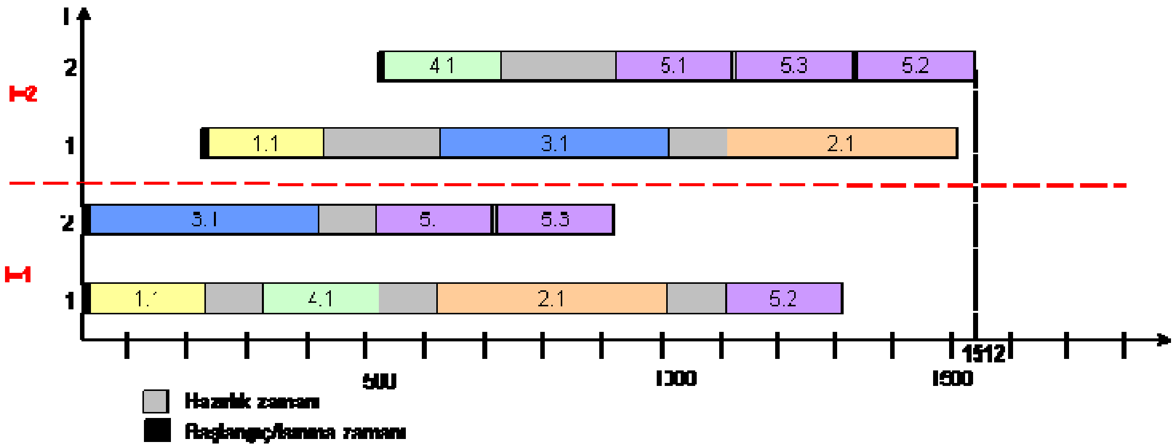
İki aşamalı karma akış tipi üretim ortamında, yığın üretim modeli (Ek-1) tanımlanan veriler ile MPL programında çalıştırılmıştır. MPL programı ile sağlanan optimal çözüm değerleri detaylı olarak Ek-2' de verilmiştir. Elde edilen MPL çözümüne göre, işlerin aşamalardaki paralel tezgahlara atanmasını gösteren Gantt diyagramı oluşturulmuştur. (Şekil 3.2.)



Şekil 3.2. Gantt Diyagramı (Yığın Üretim)

MPL programından elde edilen optimum atamalar Gantt diyagramında görülmektedir. Amaç fonksiyonu 1701 birim olarak gerçekleşmiştir.

Parti bölme modelin MPL programında yazılımı Ek-3'de verilmişti.Tanımlanan veri seti ile MPL programında optimal çözüm değerleri elde edilmiştir. Bu çözüm değerleri detaylı olarak Ek-4'de verilmiştir. Geliştirilen model ile yığın üretim modeline kıyasla daha iyi bir çözüm elde edilerek C_{max} süresi 1512 birim olarak gerçekleşmiştir. Elde edilen MPL çözümüne göre, işlerin partilere ayrıştırılarak aşamalardaki paralel tezgahlara atanmasını gösteren Gantt diyagramı aşağıda verilmiştir (Şekil 3.3).



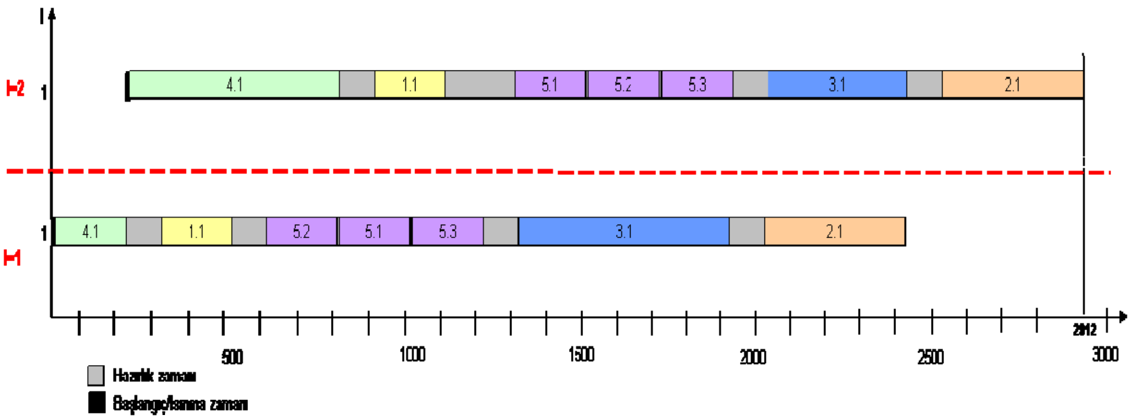
Şekil 3.3 Gantt Diyagramı (Parti Bölme Modeli)

Her iki modelin çözüm sonuçları karşılaştırıldığında açıkça görüleceği üzere, partilerin ayrıştırılması sonucunda işlerin takip ettiği üretim aşamalarındaki işlemlerin zaman ekseninde üst üste bindirilmesi ile amaç fonksiyonunda daha iyi bir çözüm sağlanmıştır (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3). Böylelikle işlerin maksimum tamamlanma süresi 1701 birim yerine 1512 birim olarak kısalmıştır. Buna karşın modellerin çözüm performanslarının karşılaştırdığımızda parti bölme kavramı ile problemin karmaşıklığı arttığı için çözüm süresi ve optimal çözüme ulaşmak için yapılan iterasyon sayısı artmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.7 Yığın ve Parti Bölme Modelinin Çözüm Performansları

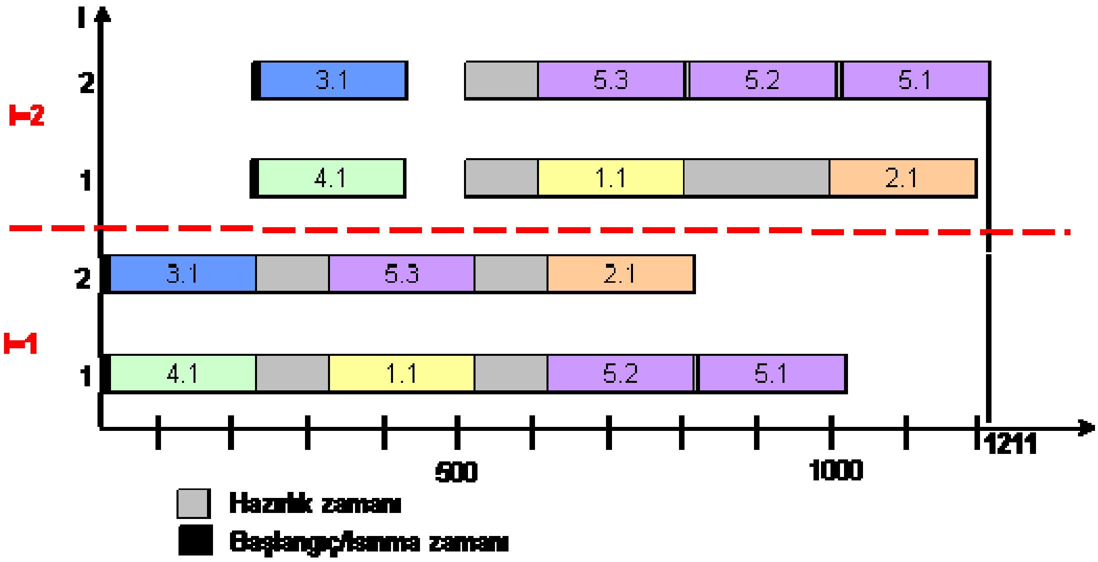
	Model 1	**Model 2**
Çözüm Süresi(dak)	0,17	25,18
İterasyon Sayısı	20531	1578494

Özdeş olmayan tezgahları içeren akış tipi üretim ortamında parti bölme problemi için yine Ek-5'de verilen MPL programı ile optimal çözüm elde edilmiştir(Ek-6). Bu model ile işler tezgahlara ardışık olarak sıralanmak zorunda kaldığından C_{max} süresi 2912 birim olarak gerçekleşmiştir. Buna göre işlerin sıralanmasını içeren Gantt diyagramı Şekil 3.4' de verilmiştir.



Şekil 3.4 Gantt Diyagramı (Akış Tipi Üretim)

Özdeş tezgahları içeren parti bölme modeli (Ek-7) ile elde edilen optimal çözüm değerleri Ek-8'de verilmiştir. Bu çözüme göre C_{max} süresi kısalarak 1211 birim olarak gerçekleşmiştir. Buna göre, işlerin partilere ayrıştırılarak aşamalardaki özdeş paralel tezgahlara atanmasını gösteren Gantt diyagramı aşağıda verilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Gantt Diyagramı (Özdeş Tezgahlar ve Parti Bölme)

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada öncelikle karma akış tipi üretim ortamında çizelgeleme için bir model sunulmuştur. NP-zor yapıda olan, sıralamaya bağlı hazırlık süreleri ve özdeş olmayan tezgahları içeren bu problem için karışık tamsayılı programlama ile optimal çözüm elde edilmiştir. Gerçek hayatta sıkça karşımıza çıkan bu problem tipi, parti bölme kavramı ile geliştirilerek daha iyi bir çözüm sağlanmıştır. Aynı veri seti ile yığın üretim modeli yerine partilerin ayrıştırılarak çizelgeleme yapılması ile maksimum tamamlanma süresi 1701 birimden 1512 birime düşmüştür. Ancak, karma akış tipi üretim ortamında parti bölme ile amaç fonksiyonunda daha iyi çözümler elde edilirken modelin çözüm süresi oldukça uzamıştır. 5 iş, 2 aşama ve her aşamada ikişer tezgah olan nispeten küçük ölçekli bu veri setinde bile modele parti bölme kavramı eklendiğinde çözüm süresi 0,17 dakikadan 25,18 dakikaya ulaşmıştır. Yine çözüme ulaşmak için yapılan iterasyon sayısı da artmıştır (Çizelge 4.1)

Çizelge 4.1 Senaryoların Karşılaştırmalı Sonuçları

		Model	Cmax (birim)	Çözüm Süresi (dak)	İterasyon Sayısı
Karma Akış Tipi Atölye (HFS)	Özdeş Olmayan Tezgahlı	Yığın Üretim Modeli	1.701	0,17	20.531
		Parti Ayrıştırma Modeli	1.512	25,18	1.578.494
	Özdeş Tezgahlı	Parti Ayrıştırma Modeli	1.211	43,12	2.371.590
Akış Tipi Atölye (FS)	Özdeş Olmayan Tezgahlı	Parti Ayrıştırma Modeli	2.912	1,25	181.629

Geliştirilen parti bölme modeli, özdeş tezgahların olduğu karma akış tipi üretim için değerlendirilmiş ve daha da iyi bir performans ölçütü sağlanmıştır. Özdeş tezgahlarda, her bir işin işlem süresi aynı olduğunda, amaç fonksiyonu 1512 birimden 1211 birime inmiştir. Özdeş tezgahlı modelde, sıralamaya bağlı olarak hazırlık süreleri aynı olan işler aynı tezgaha atanabilmiş ve dolayısıyla bu atama şekli ile hazırlık sürele için oluşan kayıp da azalmıştır.

Yine geliştirilen parti bölme problemi paralel tezgahlar içermeyen akış tipi bir üretim için değerlendirilmiş ve maksimum tamamlanma zamanının olumsuz yönde etkilendiği gösterilmiştir. Akış tipi üretim ortamında iki aşamada birer tezgah olduğu durumda kısıtlı kaynaktan dolayı işler beklemek zorunda kalmıştır. Bu durumda ise amaç fonksiyonu değeri 2912 birim değerine ulaşmıştır.

Bu çalışma ile parti bölme kavramının karma akış tipi üretim ortamında çözüme olan etkileri sunulmuştur. Karma akış tipi üretim ortamında, yığın üretim modeli ile üretim çizelgelendiğinde büyük parti büyüklükleri nedeniyle işler partinin tamamlanması ve yeni partinin atanması için uzun süre proses içinde kalırlar. Buna karşın parti bölme ile işlerin daha küçük partiler halinde üretilmesi, işlerin daha kısa sürede tamamlanmasını sağladığı gibi üretilen iş çeşitliliğinin fazla olmasına da olanak sağlar. Böylelikle partilerin daha küçük parti büyüklükleri ile ayrıştırılabildiği model ile üretim ortamında esneklik de yaratılmış olur.

SONUÇ

Yapılmış olan bu çalışma ile sıralamaya bağlı hazırlık zamanlarını ve özdeş olmayan tezgahları içeren iki aşamalı karma akış tipi üretim ortamında iş ataması ve çizelgeleme için bir model sunulmuştur. Bu modelin parti büyüklüğü kavramını da içermesi için alternatif bir model sunulmuştur. Her iki model için de karışık tamsayılı programlama ile optimal çözüm bulunmuştur. NP-zor sınıfında değerlendirilen bu problem tipi için küçük ölçekli veri seti ile çözümler sağlanmış ve parti bölmenin amaç fonksiyonuna katkısı ispat edilmiştir. Buna karşın, parti bölmenin modele eklenmesi ile modelin karmaşıklığı artmış ve çözüm süresi uzamıştır. Araştırma sonuçlarından da görüldüğü gibi optimal olarak ancak küçük boyutlar çözülebileceğinden dolayı sezgisel yöntemler üzerinde daha çok durmak gerekebilir.

Gelecekteki çalışmalar için,

- Literatürdeki mevcut çalışmaların çoğu sunulan modelde olduğu gibi imalat aşamalarındaki parti büyüklüğünün değişmez olduğunu varsaymaktadır. Buna karşın değişen parti büyüklüklerinin çizelgeleme ölçütünü daha da iyileştirebileceği düşünülebilir.
- Çalışmadaki model farklı performans ölçütleri ile değerlendirilebileceği gibi çok amaçlı olarak da geliştirilebilir.
- Partilerin ayrıştırılmasını içeren modelde taşıma süresi dikkate alınmamıştır. Modele yerleşim planı nedeniyle oluşabilecek taşıma süreleri de dahil edilebilir.
- Geliştirilen modellerde tüm işlerin atölyede aynı anda hazır olduğu varsayılmıştır. Oysa ki, ürün partilerinin atölyeye geliş zamanları birbirinden farklı olabilir.
- Tezgahların işlemeye her an hazır olduğu ve tezgahların zaman içinde bozulmadığı varsayılmaktadır. Tezgahların belirli aralıklarla bakım için durdurulması gereken haller için çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

BAKER, K.R. 1997. Elements of Sequencing and Scheduling,John Willey & Sons Inc, 483 p.

BAKER, K.R., D.JIA. 1993. a Comparative Study of Lot Streaming Procedures. Omega International Journal of Management Science. 21. p561-566.

BAKER, K.R.,D.F.PYKE. 1990. Solution Procedures For The Lot Streaming Problem. Decision Sciences, 21: 475-491.

BUCKHIN, J., M.MASIN. 2003. Multi-Objective Lot Splitting For A Single Product m-machine Flowshop Line. IIE Transactions, 36: 191-202.

CHIU, H.N., J.H.CHANG. 2004. Cost Models For Lot Streaming in a Multistage Flowshop. Omega, Article in Press. p 1-16.

CHOI, H., D.LEE. 2008. Scheduling Algorithms to Minimize the Number of Tardy Jobs in Two Stage Hybrid Flow Shop. Computers &Industrial Engineering, 56(2009), p.113-120.

ÇETİNKAYA F.C. 2008. 1. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, Ankara., 24-25 Nisan 2008.

DEFERSHA, M.F. ve M.CHEN. 2008. A Hybrid Genetic Algorithm for Flow Shop Lot Streaming with Setups and Variable Sublots. International Journal of Production Research , 48, 6(2010), p.1705-1726.

FANTAHUN M.D., M.CHEN. 2010. A Hybrid Genetic Algorithm for Flow Shop Lot Streaming with Setups and Variable Sublots. International Journal of Production Research, 48(6), p.1705-1726.

FIGIELSKA E. 2010. Heuristic Algorithms For Preemptive Scheduling In A Two-Stage Hybrid Flow Shop With Additional Renewable Resources At Each Stages. Computers & Industrial Engineering, 59(4), p.509-519.

GENOULAZ, V.B. 2000. Hybrid Flow Shop Scheduling With Precedence Constraints and Time Lags To Minimize Maximum Lateness, 64(1-3), p.101-111.

GLASS, C.A., J.N.D.GUPTA ve C.N.POTTS.1992. Lot Streaming in Three Stage Production Processes. European Journal of Operations Research, 75:378-394.

GUPTA, J. N. D. (1988). Two-Stage Hybrid Flowshop Scheduling Problem. Operational Research Society, 39 (4), p.359-364.

HAOUARI, M., R. HALLAH. 1996. Heuristic Algorithms For The Two-Stage Hybrid Flow Shop Problem. Operations Research Letters,21(1) , p.43-53.

KALIR, A.A.., S.C. SARIN. 2000. Evaluation of The Potential Benefits Of Lot-Streaming in flowshop Systems. International Journal Of Production Economics, 66(2):131-142.

KAN R.1976. Machine Scheduling Problems Classification, Complexity and Computations, The Hague.

KIM, S., D.H.A.2003. A JIT Lot Splitting Model For Supply Chain Management: Enhancing buyer-supplier Linkage. International Journal Of Production Economics, 86(10):1-10.

KUMAR, S., T.P.BAGCHI, C.SRISKANDARAJAH. 2000. Lot Streaming and Scheduling Heuristics for m-machine No-wait Flowshops. Computers and Industrial Engineering, 38:149-172.

LIU, S.C. 2003. A Heuristic Method For Discrete Lot-Streaming with Variable Sublots in a Flowshop. Onternational Journal Of Advanced Manufacturing Technology, 22:662-668.

MANNE A.S. On the Job Shop Scheduling Problem. Operations Research 1960, 8(2), p.219-223.

NASERI M.R.A ve M.A.B. NIA. 2009. Hybrid Flow Shop Scheduling with Parallel Batching. Int.J.Production Economics, 117, p.195-196.

ÖZEL A.S. 1999. Üretim Çizelgeleme Algoritmalarının Programlanması s.16-21

PINEDO, M. L., 1995. Scheduling: Theory, Algorithms and Systems. Prentice Hall, New Jersey, 372 p.

PERES D.S., J.B.LASSERRE. 1997. Lot Streaming in Job-Shop Scheduling. Operations Research, 45: 584-595.

REISMAN,A., A.KUMAR, J.MOTWANI . 1997. Flowshop Scheduling/ Sequencing Research: A Statistical Review of the Literature. IEEE Transactions on Engineering Management , 44(3),p.316–329.

ROCHA P.L., M.G.RAVETTI, G.R. MATEUS, P.M. PARDALOS. 2008. Exact Algorithms for Scheduling Problem With Unrelated Parallel Machines and Sequence and Machine-Dependent Setup Times. Computers & Operations Research, 35, 2008, p.1250-1264.

RUBEN R., C. MAROTO. 2006. A Genetic Algorithm For Hybrid Flow Shops with Sequence Dependent Setup Times and Machine Eligibility. European Journal of Operational Research, 169(2009), p.781-800.

RUIZ, R., F.SİVRİKAYA ŞERİFOĞLU, T.URLINGS. 2008. Modeling Realistic Hybrid Flexible Flowshop Scheduling Problems. Computers & Operational Research, 35(2008):p.1151-1175.

RUIZ, R., J.A.RODRIGUEZ, 2010. The Hybrid Flow Shop Scheduling Problem. European Journal of Operational Research, 205(1), p1-18.

SRISKANDARAJAH, C.,E.WAGNER. 1995. Lot Streaming of Single Product in Two-Machine No-wait Flowshops. IEEE, p. 427-436.

SİVRİKAYA ŞERİFOĞLU, F. ve G. ULUSOY, 2002. Çok İşlemcili İşlerin Çok Katmanlı Paralel İşlemcili Akış Atölyelerinde Çizelgelenmesi. 9s.

ŞEVKLİ, M., M.YENİSEY. 2006. Atölye Tipi Çizelgeleme Problemleri için Parçacık Sürü Optimizasyon Yöntemi. İtüder/Mühendislik,5, 2(1), s.58-60.

TRIETSCH, D. 1987. Optimal Transfer Lots For Batch Manufacturing: A Basic Case and Extensions. Working paper, Department of Administative Sciences, Naval Postgraduate School, Monterey, CA 93943. 32 p.

VICKSON, R.G. 1993. Optimal Lot Streaming For Multiple Products in a Two-Machine Flowshop. European Journal of Operational Research, 85:556-575.

WAGNER HW. 1959. An Integer Linear Programming Model For Machine Scheduling. Naval Research Logistic Quarterly, 6(2), p.131-140.

WANG, X., L.TAG. 2007. A Tabu Search Heuristic For The Hybrid Flow Shop Scheduling With Finite Intermediate Buffers, Computers & Operations Research, 36(3), p.907-918.

YOON, S.H., J.A.VENTURA. 2002. Minimizing The Mea Weighted Absolute Deviation From Due Dates in Lot-Streaming Flowshop Scheduling. Computer & Operations Research, 29:1301-1315.

ZHANG, W., Y.CHANGY, L.JIYIN, J.L.RICHARD.2005. Multi-job Lot Streaming to Minimize the Mean Completion Time in m-1 Hybrid Flowshops. International Journal of Production Economics, 96(2005), p.189-200.

EKLER

EK-1 YIĞIN ÜRETİM MODELİ İÇİN MPL PROGRAMINDA YAZILAN MODEL

```
TITLE
      tez_deneme;
INDEX
      i:=1..2;
      j:=0..5;
      k:=j;
      h:=j;
      l:=1..2;
DATA
E[i,l,j,k]:=sparsefile(eligible.dat);
s[i,l,j,k]:=sparsefile(setup.dat);
p[i,l,j]:=sparsefile(time.dat);
V:=5000;
D[k]:=(0,200,200,200,200,600);

DECISION VARIABLES
Cmax;
C[i,j];

BINARY VARIABLES
      X[i,l,j,k] where E[i,l,j,k]>0;

MODEL
      MIN Cmax;

SUBJECT TO

E2[i,k] :                SUM(j,l:X[i,l,j,k<>j])=1;

E3[i,j>0] :              SUM(j<>k,l:X[i,l,j:=k,k:=j])<=1;

E4[i,l,j>0,k>0]:         SUM(h<>k:X[i,l,h<>j,j<>k])>=X[i,l,j<>k,k];

E5[i,j>0,k>j]:           SUM(l:X[i,l,j<>k,k]+X[i,l,j:=k,k:=j])<=1;

E6[i,l]:                 SUM(k>0:X[i,l,j:=0,k])<=1;

E7[i]:                   C[i,j:=0]=0;

E8[i=1,l,j>=0,k<>j]:     C[i,k]+V*(1-
                         X[i,l,j,k])>=C[i,j]+s[i,l,j,k]+D[k]*p[i,l,k];

E9[i=2,l,j>=0,k<>j]:     C[i,k]+V*(1-X[i,l,j,k])>=C[i-
                         1,k]+s[i,l,j,k]+D[k]*p[i,l,k];

E10[j>0]:                Cmax>=C[i:=2,j];

E12[i,j>0]:              C[i,j]>=0;

END
```

EK-2 YIĞIN ÜRETİM MODELİ İÇİN ÇÖZÜM

```
MPL Modeling System   -   Copyright (c) 1988-2008, Maximal Software,
Inc.
----------------------------------------------------------------------
----------
MODEL STATISTICS

Problem name:       tez_deneme

Filename:           ılk_model.mpl
Date:               September 19, 2008
Time:               20:37
Parsing time:       1.02 sec

Solver name:        CPLEX  (11.1.1)
Objective value:    1701.00000000
MIP best bound:     1701.00000000
Integer nodes:      2346
Iterations:         20531
Solution time:      10.17 sec
Result code:        101

Constraints:        313
Variables:          95
Integers:           82
Nonzeros:           1061
Density:            4 %

SOLUTION RESULT

  Optimal integer solution found


    MIN Z        =       1701.0000

DECISION VARIABLES

PLAIN VARIABLES

    Variable Name            Activity     Reduced Cost
  ------------------------------------------------------
    Cmax                   1701.0000          0.0000
  ------------------------------------------------------

VARIABLE C[i,j] :

    i  j          Activity     Reduced Cost
  ------------------------------------------
   1  1          201.0000           0.0000
   1  2          701.0000           0.0000
   1  3         1201.0000           0.0000
   1  4          201.0000           0.0000
   1  5          901.0000           0.0000
   2  1          702.0000           0.0000
   2  2         1102.0000           0.0000
   2  3         1701.0000           0.0000
```

2	4	402.0000	0.0000
2	5	1701.0000	0.0000

VARIABLE X[i,l,j,k] :

i	l	j	k	Activity	Reduced Cost
1	1	0	4	1.0000	0.0000
1	1	4	5	1.0000	0.0000
1	2	0	1	1.0000	5000.0000
1	2	1	2	1.0000	5000.0000
1	2	2	3	1.0000	5000.0000
2	1	0	2	1.0000	0.0000
2	1	2	3	1.0000	5000.0000
2	2	0	4	1.0000	0.0000
2	2	1	5	1.0000	0.0000
2	2	4	1	1.0000	0.0000

EK-3 PARTİ BÖLME MODELİ İÇİN MPL PROGRAMINDA YAZILAN MODEL

```
TITLE
      tezdeneme;
INDEX

      i:=1..2;
      j:=0..5;
      k:=j;
      h:=j;
      m:=0..3;
      n:=m;
      t:=m;
      l:=1..2;

DATA
      s[i,l,j,m,k,n]:=  sparsefile(setupveri3.dat);
      p[i,l,j]:=        sparsefile(prosestimeveri3.dat);
      f[i,l,k,n]:=            sparsefile(serbestlikveri3.dat);
      V:=5000;
      U:=1000;
      D[k]:=(0,200,200,200,200,600);
      LS:=200;

DECISION VARIABLES
      Cmax;
      C[i,j,m];
      y[i,l,k,n] where f[i,l,k,n]>0;

BINARY VARIABLES
      X[i,l,j,m,k,n] where s[i,l,j,m,k,n]>0 ;
      z[i,l,k,n] where f[i,l,k,n]>0;

MODEL
      MIN Cmax;

SUBJECT TO
E2_[i,k>0,n]:     SUM(l,j,m:X[i,l,j,m,k,n] except where j=k and m=n) =
                  SUM(l:y[i,l,k,n]/LS);

E3_[i,k,n]:       SUM(l,j>0,m:X[i,l,j:=k,m:=n,k:=j,n:=m] except where
                  j=k and m=n) <= 1;

E4_[i,l,j>0,m,k,n] except where j=k and m=n:
                  SUM(h,t:X[i,l,j:=h,m:=t,k:=j,n:=m] except where h=k
                  and t=n) >= X[i,l,j,m,k,n];

E5_[i,j>0,m,k>0,n] except where j=k and m=n:
            SUM(l:X[i,l,j,m,k,n] + X[i,l,j:=k,m:=n,k:=j,n:=m])<= 1;

E6_[i,l]:         SUM(k,n:    X[i,l,0,0,k,n]) <= 1;

E7_[i]:           C[i,0,0]=0;

E8_[i=1,l,j,m,k>0,n] where s>0:
```

```
            C[1,k,n]+V*(1-X[1,l,j,m,k,n] except where j=k and
            m=n)>=C[1,j,m]+(s[1,l,j,m,k,n] except where j=k and
            m=n)+y[1,l,k,n]*p[1,l,k];

E81_[i=2,l,j,m,k>0,n]  where s>0:
            C[2,k,n]+V*(1-X[2,l,j,m,k,n] except where j=k and
            m=n)>=C[2,j,m]+(s[2,l,j,m,k,n] except where j=k and
            m=n)+y[2,l,k,n]*p[2,l,k];

E9_[i=2,l,j,m,k>0,n]  where s>0:
            C[2,k,n]+V*(1-X[2,l,j,m,k,n] except where j=k and
            m=n)>=C[1,k,n]+(s[2,l,j,m,k,n] except where j=k and
            m=n)+y[2,l,k,n]*p[2,l,k];

E101_[j>0,m>0]:   C[2,j,m] > C[1,j,m];

E102_[j>0,m>0]:   Cmax >= C[2,j,m];

E13_[i,j>0]:      SUM(l,m:y[i,l,j,m])=D[j];

E14_[i,l,j>0,m]:  y[i,l,j,m] >= LS*z[i,l,j,m];

E151_[i,l,j>0,m,k,n] except where s<=0 and j=k and m=n:
                  -z[i,l,j,m] + X[i,l,j,m,k,n] <= 0;

E152_[i,l,j,m,k>0,n] except where s<=0 and j=k and m=n:
                  -z[i,l,k,n] + X[i,l,j,m,k,n] <= 0;

E16_[i,l,j>0,m]:  y[i,l,j,m] <= U*z[i,l,j,m];

E17_[i,j>0,m]:    SUM(l:z[i,l,j,m]) <= 1;
```

EK-4 PARTİ BÖLME MODELİ İÇİN ÇÖZÜM


```
--------------------------------------------------------------------------------


MODEL STATISTICS

Problem name:       tezdeneme

Filename:           2010_09_08_sublotsuz_2.mpl
Date:               September 20, 2008
Time:               19:19
Parsing time:       1.09 sec

Solver name:        CPLEX  (11.1.1)
Objective value:    1512.00000000
MIP best bound:     1511.84970537
Integer nodes:      760077
Iterations:         1578494
Solution time:      25 min, 18 sec
Result code:        102

Constraints:        2436
Variables:          281
Integers:           226
Nonzeros:           8219
Density:            1.2 %

SOLUTION RESULT

  Optimal solution within tolerance found

    MIN Z        =       1512.0000

DECISION VARIABLES

PLAIN VARIABLES

    Variable Name             Activity     Reduced Cost
  ------------------------------------------------------
    Cmax                    1512.0000          0.0000
  ------------------------------------------------------


VARIABLE C[i,j,m] :

    i  j  m          Activity     Reduced Cost
  ---------------------------------------------
   1  1  1         201.0000           0.0000
   1  2  1        1001.0000           0.0000
   1  3  1         401.0000           0.0000
   1  4  1         501.0000           0.0000
   1  5  1         701.0000           0.0000
   1  5  2        1301.0000           0.0000
   1  5  3         906.0000           0.0000
   2  1  1         402.0000           0.0000
   2  2  1        1512.0000           0.0000
   2  3  1        1012.0000           0.0000
   2  4  1         702.0000           0.0000
```

2	5	1	1102.0000	0.0000
2	5	2	1512.0000	0.0000
2	5	3	1307.0000	0.0000

VARIABLE y[i,l,k,n] :

i	l	k	n	Activity	Reduced Cost
1	1	1	1	200.0000	0.0000
1	1	2	1	200.0000	0.0000
1	1	4	1	200.0000	0.0000
1	1	5	2	200.0000	0.0000
1	2	3	1	200.0000	0.0000
1	2	5	1	200.0000	0.0000
1	2	5	3	200.0000	0.0000
2	1	1	1	200.0000	0.0000
2	1	2	1	200.0000	0.0000
2	1	3	1	200.0000	0.0000
2	2	4	1	200.0000	0.0000
2	2	5	1	200.0000	0.0000
2	2	5	2	200.0000	0.0000
2	2	5	3	200.0000	0.0000

VARIABLE X[i,l,j,m,k,n] :

i	l	j	m	k	n	Activity	Reduced Cost
1	1	0	0	1	1	1.0000	5000.0000
1	1	1	1	4	1	1.0000	5000.0000
1	1	2	1	5	2	1.0000	0.0000
1	1	4	1	2	1	1.0000	0.0000
1	2	0	0	3	1	1.0000	0.0000
1	2	3	1	5	1	1.0000	0.0000
1	2	5	1	5	3	1.0000	0.0000
2	1	0	0	1	1	1.0000	0.0000
2	1	1	1	3	1	1.0000	0.0000
2	1	3	1	2	1	1.0000	0.0000
2	2	0	0	4	1	1.0000	5000.0000
2	2	4	1	5	1	1.0000	5000.0000
2	2	5	1	5	3	1.0000	5000.0000
2	2	5	3	5	2	1.0000	5000.0000

VARIABLE z[i,l,k,n] :

i	l	k	n	Activity	Reduced Cost
1	1	1	1	1.0000	200.0000
1	1	2	1	1.0000	0.0000
1	1	4	1	1.0000	0.0000
1	1	5	2	1.0000	0.0000
1	2	3	1	1.0000	0.0000
1	2	5	1	1.0000	0.0000
1	2	5	3	1.0000	0.0000
2	1	1	1	1.0000	0.0000
2	1	2	1	1.0000	0.0000
2	1	3	1	1.0000	0.0000

2	2	4	1	1.0000	200.0000
2	2	5	1	1.0000	200.0000
2	2	5	2	1.0000	200.0000
2	2	5	3	1.0000	200.0000

EK-5 AKIŞ TİPİ ÜRETİMDE PARTİ BÖLME İÇİN MPL PROGRAMINDA YAZILAN MODEL

```
TITLE
      tezdeneme;
INDEX

      i:=1..2;
      j:=0..5;
      k:=j;
      h:=j;
      m:=0..3;
      n:=m;
      t:=m;
      l:=1;

DATA
      s[i,l,j,m,k,n]:=  sparsefile(setupveri3.dat);
      p[i,l,j]:=        sparsefile(prosestimeveri3.dat);
      f[i,l,k,n]:=      sparsefile(serbestlikveri3.dat);
      V:=5000;
      U:=1000;
      D[k]:=(0,200,200,200,200,600);
      LS:=200;

DECISION VARIABLES

      Cmax;
      C[i,j,m];
      y[i,l,k,n] where f[i,l,k,n]>0;

BINARY VARIABLES

      X[i,l,j,m,k,n] where s[i,l,j,m,k,n]>0 ;
      z[i,l,k,n] where f[i,l,k,n]>0;

MODEL
      MIN Cmax;


SUBJECT TO
E2_[i,k>0,n] :               SUM(l,j,m:  X[i,l,j,m,k,n] except where
                             j=k and m=n) = SUM(l: y[i,l,k,n]/LS);

E3_[i,j>0,n]:                SUM(l,j,m:  X[i,l,j:=k,m:=n,k:=j,n:=m]
                             except where j=k and m=n) <= 1;

E4_[i,l,j>0,m,k,n] except where j=k and m=n:
                             SUM(h,t:X[i,l,j:=h,m:=t,k:=j,n:=m] except
                             where h=k and t=n) >= X[i,l,j,m,k,n];

E5_[i,j>0,m,k>0,n] except where j=k and m=n:
                             SUM(l:X[i,l,j,m,k,n] + X[i,l,j:=k,
                             m:=n,k:=j,n:=m]) <= 1;

E6_[i,l]:                    SUM(k,n:X[i,l,0,0,k,n]) = 1;

E7_[i]:                      C[i,0,0]=0;
```

```
E8_[i=1,l,j,m,k>0,n] where s>0:
                             C[1,k,n]+V*(1-X[1,l,j,m,k,n] except where
                             j=k and m=n)>=C[1,j,m]+(s[1,l,j,m,k,n]
                             except where j=k and
                             m=n)+y[1,l,k,n]*p[1,l,k];

E81_[i=2,l,j,m,k>0,n]  where s>0:
                             C[2,k,n]+V*(1-X[2,l,j,m,k,n] except where
                             j=k and m=n)>=C[2,j,m]+(s[2,l,j,m,k,n]
                             except where j=k and
                             m=n)+y[2,l,k,n]*p[2,l,k];

E9_[i=2,l,j,m,k>0,n]  where s>0:
                             C[2,k,n]+V*(1-X[2,l,j,m,k,n] except where
                             j=k and m=n)>=C[1,k,n]+(s[2,l,j,m,k,n]
                             except where j=k and
                             m=n)+y[2,l,k,n]*p[2,l,k];

E101_[j>0,m>0]:              C[2,j,m] > C[1,j,m];

E102_[j>0,m>0]:              Cmax >= C[2,j,m];

E13_[i,j>0]:SUM(l,m:         y[i,l,j,m])=D[j];

E14_[i,l,j>0,m]:             y[i,l,j,m] >= LS*z[i,l,j,m];

E151_[i,l,j>0,m,k,n] except where s<=0 and j=k and m=n:
                             -z[i,l,j,m] + X[i,l,j,m,k,n] <= 0;

E152_[i,l,j,m,k>0,n] except where s<=0 and j=k and m=n:
                             -z[i,l,k,n] + X[i,l,j,m,k,n] <= 0;

E16_[i,l,j>0,m]:             y[i,l,j,m] <= U*z[i,l,j,m];

E17_[i,j>0,m]:               SUM(l:z[i,l,j,m]) <= 1;
```

EK-6 AKIŞ TİPİ ÜRETİMDE PARTİ BÖLME İÇİN MPL ÇÖZÜMÜ

```
  MPL Modeling System   -   Copyright (c) 1988-2008, Maximal Software,
Inc.
----------------------------------------------------------------------
----------

MODEL STATISTICS

Problem name:       tezdeneme

Filename:           2010_09_08_sublotsuz_2.mpl
Date:               September 25, 2008
Time:               12:54
Parsing time:       0.06 sec

Solver name:        CPLEX  (11.1.1)
Objective value:    2912.00000000
MIP best bound:     2911.74483776
Integer nodes:      64196
Iterations:         181629
Solution time:      1 min, 25 sec
Result code:        102

Constraints:        1339
Variables:          159
Integers:           114
Nonzeros:           4206
Density:            2.0 %


SOLUTION RESULT

  Optimal solution within tolerance found

    MIN Z        =       2912.0000

DECISION VARIABLES

PLAIN VARIABLES

    Variable Name            Activity     Reduced Cost
  ------------------------------------------------------
    Cmax                   2912.0000          0.0000
  ------------------------------------------------------

VARIABLE C[i,j,m] :

    i  j  m          Activity     Reduced Cost
  ---------------------------------------------
   1  1  1         501.0000          0.0000
   1  2  1        2411.0000          0.0000
   1  3  1        1911.0000          0.0000
   1  4  1         201.0000          0.0000
   1  5  1        1006.0000          0.0000
   1  5  2         801.0000          0.0000
   1  5  3        1211.0000          0.0000
   2  1  1        1102.0000          0.0000
```

2	2	1	2912.0000	0.0000
2	3	1	2412.0000	0.0000
2	4	1	802.0000	0.0000
2	5	1	1502.0000	0.0000
2	5	2	1707.0000	0.0000
2	5	3	1912.0000	0.0000

VARIABLE y[i,l,k,n] :

i	l	k	n	Activity	Reduced Cost
1	1	1	1	200.0000	0.0000
1	1	2	1	200.0000	0.0000
1	1	3	1	200.0000	0.0000
1	1	4	1	200.0000	0.0000
1	1	5	1	200.0000	0.0000
1	1	5	2	200.0000	0.0000
1	1	5	3	200.0000	0.0000
2	1	1	1	200.0000	0.0000
2	1	2	1	200.0000	0.0000
2	1	3	1	200.0000	0.0000
2	1	4	1	200.0000	0.0000
2	1	5	1	200.0000	0.0000
2	1	5	2	200.0000	0.0000
2	1	5	3	200.0000	0.0000

VARIABLE X[i,l,j,m,k,n] :

i	l	j	m	k	n	Activity	Reduced Cost
1	1	0	0	4	1	1.0000	5000.0000
1	1	1	1	5	2	1.0000	0.0000
1	1	3	1	2	1	1.0000	0.0000
1	1	4	1	1	1	1.0000	0.0000
1	1	5	1	5	3	1.0000	0.0000
1	1	5	2	5	1	1.0000	0.0000
1	1	5	3	3	1	1.0000	0.0000
2	1	0	0	4	1	1.0000	5000.0000
2	1	1	1	5	1	1.0000	5000.0000
2	1	3	1	2	1	1.0000	5000.0000
2	1	4	1	1	1	1.0000	5000.0000
2	1	5	1	5	2	1.0000	5000.0000
2	1	5	2	5	3	1.0000	5000.0000
2	1	5	3	3	1	1.0000	5000.0000

VARIABLE z[i,l,k,n] :

i	l	k	n	Activity	Reduced Cost
1	1	1	1	1.0000	0.0000
1	1	2	1	1.0000	0.0000
1	1	3	1	1.0000	0.0000
1	1	4	1	1.0000	0.0000
1	1	5	1	1.0000	0.0000
1	1	5	2	1.0000	0.0000
1	1	5	3	1.0000	0.0000

2	1	1	1	1.0000	0.0000
2	1	2	1	1.0000	0.0000
2	1	3	1	1.0000	0.0000
2	1	4	1	1.0000	0.0000
2	1	5	1	1.0000	0.0000
2	1	5	2	1.0000	0.0000
2	1	5	3	1.0000	0.0000

EK-7 ÖZDEŞ TEZGAHLARLA PARTİ BÖLME İÇİN MPL PROGRAMINDA YAZILAN MODEL

```
TITLE
      tezdeneme;
INDEX

      i:=1..2;
      j:=0..5;
      k:=j;
      h:=j;
      m:=0..3;
      n:=m;
      t:=m;
      l:=1..2;

DATA
      s[i,l,j,m,k,n]:=  sparsefile(setupveri3.dat);
      p[i,l,j]:=        sparsefile(prosestimeveri3.dat);
      f[i,l,k,n]:=      sparsefile(serbestlikveri3.dat);
      V:=5000;
      U:=1000;
      D[k]:=(0,200,200,200,200,600);
      LS:=200;

DECISION VARIABLES
      Cmax;
      C[i,j,m];
      y[i,l,k,n] where f[i,l,k,n]>0;

BINARY VARIABLES
      X[i,l,j,m,k,n] where s[i,l,j,m,k,n]>0 ;
      z[i,l,k,n] where f[i,l,k,n]>0;

MODEL
      MIN Cmax;

SUBJECT TO
E2_[i,k>0,n] :SUM(l,j,m:      X[i,l,j,m,k,n] except where j=k and m=n)
                               = SUM(l: y[i,l,k,n]/LS);

E3_[i,j>0,n]:                 SUM(l,j,m:  X[i,l,j:=k,m:=n,k:=j,n:=m]
                              except where j=k and m=n) <= 1;

E4_[i,l,j>0,m,k,n] except where j=k and m=n:
                              SUM(h,t:X[i,l,j:=h,m:=t,k:=j,n:=m] except
                              where h=k and t=n) >= X[i,l,j,m,k,n];

E5_[i,j>0,m,k>0,n] except where j=k and m=n:
                              SUM(l:X[i,l,j,m,k,n] +
                              X[i,l,j:=k,m:=n,k:=j,n:=m]) <= 1;

E6_[i,l]:                     SUM(k,n:X[i,l,0,0,k,n]) = 1;

E7_[i]:                       C[i,0,0]=0;

E8_[i=1,l,j,m,k>0,n] where s>0:
```

```
                              C[1,k,n]+V*(1-X[1,l,j,m,k,n] except where
                              j=k and m=n)>=C[1,j,m]+(s[1,l,j,m,k,n]
                              except where j=k and
                              m=n)+y[1,l,k,n]*p[1,l,k];

E81_[i=2,l,j,m,k>0,n]  where s>0:
                              C[2,k,n]+V*(1-X[2,l,j,m,k,n] except where
                              j=k and m=n)>=C[2,j,m]+(s[2,l,j,m,k,n]
                              except where j=k and
                              m=n)+y[2,l,k,n]*p[2,l,k];

E9_[i=2,l,j,m,k>0,n]  where s>0:
                              C[2,k,n]+V*(1-X[2,l,j,m,k,n] except where
                              j=k and m=n)>=C[1,k,n]+(s[2,l,j,m,k,n]
                              except where j=k and
                              m=n)+y[2,l,k,n]*p[2,l,k];

E101_[j>0,m>0]:               C[2,j,m] > C[1,j,m];

E102_[j>0,m>0]:               Cmax >= C[2,j,m];

E13_[i,j>0]:SUM(l,m:          y[i,l,j,m])=D[j];

E14_[i,l,j>0,m]:              y[i,l,j,m] >= LS*z[i,l,j,m];

E151_[i,l,j>0,m,k,n] except where s<=0 and j=k and m=n:
                              -z[i,l,j,m] + X[i,l,j,m,k,n] <= 0;

E152_[i,l,j,m,k>0,n] except where s<=0 and j=k and m=n:
                              -z[i,l,k,n] + X[i,l,j,m,k,n] <= 0;

E16_[i,l,j>0,m]:              y[i,l,j,m] <= U*z[i,l,j,m];

E17_[i,j>0,m]:                SUM(l:z[i,l,j,m]) <= 1;
```

EK-8 ÖZDEŞ TEZGAHLARLA PARTİ BÖLME İÇİN MPL ÇÖZÜMÜ

```
MPL Modeling System   -   Copyright (c) 1988-2008, Maximal Software,
Inc.
-----------------------------------------------------------------------
----------


MODEL STATISTICS

Problem name:       tezdeneme

Filename:           2010_09_08_sublotsuz_2.mpl
Date:               September 25, 2008
Time:               16:28
Parsing time:       0.09 sec

Solver name:        CPLEX  (11.1.1)
Objective value:    1211.00000000
MIP best bound:     1210.87941069
Integer nodes:      1150092
Iterations:         2371590
Solution time:      43 min, 12 sec
Result code:        102

Constraints:        2436
Variables:          281
Integers:           226
Nonzeros:           8219
Density:            1.2 %

SOLUTION RESULT

  Optimal solution within tolerance found

    MIN Z        =       1211.0000

DECISION VARIABLES

PLAIN VARIABLES

    Variable Name            Activity     Reduced Cost
  -------------------------------------------------------
    Cmax                   1211.0000           0.0000
  -------------------------------------------------------

VARIABLE C[i,j,m] :

    i  j  m          Activity     Reduced Cost
  ---------------------------------------------
   1  1  1         501.0000           0.0000
   1  2  1         801.0000           0.0000
   1  3  1         201.0000           0.0000
   1  4  1         201.0000           0.0000
   1  5  1        1006.0000           0.0000
```

1	5	2	801.0000	0.0000
1	5	3	501.0000	0.0000
2	1	1	801.0000	0.0000
2	2	1	1201.0000	0.0000
2	3	1	402.0000	0.0000
2	4	1	402.0000	0.0000
2	5	1	1211.0000	0.0000
2	5	2	1006.0000	0.0000
2	5	3	801.0000	0.0000

VARIABLE y[i,l,k,n] :

i	l	k	n	Activity	Reduced Cost
1	1	1	1	200.0000	0.0000
1	1	4	1	200.0000	0.0000
1	1	5	1	200.0000	0.0000
1	1	5	2	200.0000	0.0000
1	2	1	1	0.0000	0.0000
1	2	2	1	200.0000	0.0000
1	2	3	1	200.0000	0.0000
1	2	5	3	200.0000	0.0000
2	1	1	1	200.0000	0.0000
2	1	2	1	200.0000	0.0000
2	1	4	1	200.0000	0.0000
2	2	3	1	200.0000	0.0000
2	2	5	1	200.0000	0.0000
2	2	5	2	200.0000	0.0000
2	2	5	3	200.0000	0.0000

VARIABLE X[i,l,j,m,k,n] :

i	l	j	m	k	n	Activity	Reduced Cost
1	1	0	0	4	1	1.0000	5000.0000
1	1	1	1	5	2	1.0000	5000.0000
1	1	4	1	1	1	1.0000	5000.0000
1	1	5	2	5	1	1.0000	0.0000
1	2	0	0	3	1	1.0000	0.0000
1	2	3	1	5	3	1.0000	0.0000
1	2	5	3	2	1	1.0000	0.0000
2	1	0	0	4	1	1.0000	0.0000
2	1	1	1	2	1	1.0000	0.0000
2	1	4	1	1	1	1.0000	0.0000
2	2	0	0	3	1	1.0000	0.0000
2	2	3	1	5	3	1.0000	0.0000
2	2	5	2	5	1	1.0000	5000.0000
2	2	5	3	5	2	1.0000	5000.0000

VARIABLE z[i,l,k,n] :

i	l	k	n	Activity	Reduced Cost
1	1	1	1	1.0000	200.0000
1	1	4	1	1.0000	0.0000
1	1	5	1	1.0000	0.0000
1	1	5	2	1.0000	200.0000

1	2	2	1	1.0000	0.0000
1	2	3	1	1.0000	0.0000
1	2	5	3	1.0000	0.0000
2	1	1	1	1.0000	0.0000
2	1	2	1	1.0000	0.0000
2	1	4	1	1.0000	0.0000
2	2	3	1	1.0000	0.0000
2	2	5	1	1.0000	200.0000
2	2	5	2	1.0000	200.0000
2	2	5	3	1.0000	0.0000

ÖZGEÇMİŞ

Özlem Cihanlı, 29 Ağustos 1979 yılında doğdu. 1997 yılında Ali Osman Sönmez Anadolu Teknik Lisesi' ni birincilikle tamamladı. Aynı yıl Osmangazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde öğrenimine devam etti. 1998 yılında Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü' ne yatay geçiş yaptı. 2001 yılında Uludağ Üniversitesi' nden üçüncülükle mezun oldu. İş hayatına üretim planlama mühendisi olarak başlayan Cihanlı, otomotiv yan sanayinde üretim ve kalite mühendisi olarak da çalıştı. Halen yabancı ortaklı bir otomotiv yan sanayi firmasında metot mühendisi olarak görev yapmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana destek olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Erdal EMEL’ e özverili yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Göstermiş olduğu anlayış ve destek için de eşim Berk CİHANLI’ ya teşekkür ederim.