

BÖLÜM 10

SÜREÇ ENDÜSTRİLERİNDE PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ BELİRLEME VE ÇİZELGELEME PROBLEMİNİN İNCELENMESİ¹

Fatma DEMİRCAN KESKİN²
Haluk SOYUER³

GİRİŞ

Günümüz rekabet koşullarında işletmeler müşterilerin istek ve ihtiyaçlarına hızlı cevap verebilme ve memnuniyetlerini sağlama baskısını çok yoğun şekilde hissetmektedir. Bu baskı altında talep belirsizliklerini yönetmeye çalışmak, bu sürecin doğru yönetilememesi sonucunda, bazı ürünlerde stoksuz kalma bazı ürünlerde ise çok fazla stok tutma durumuna neden olabilmektedir. Müşteri memnuniyeti ile maliyetler arasındaki dengenin sağlanabilmesinde üretim planlama ve çizelgeleme kritik öneme sahiptir. Üretim planlama ile tahminlenen talebe bağlı olarak üretim kaynaklarının gelecekte ne şekilde kullanılacağı belirlenmektedir. Üretim çizelgelemede ise, belirlenmiş olan performans kriterlerini en iyi şekilde karşılamak amaçlanarak, hangi işlerin hangi zaman aralığında hangi sıra ile hangi kaynaklara atanması gerektiğine karar verilmektedir.

Üretim çizelgeleme problemleri, ele alındıkları süreçlerin yapısı ve endüstrinin özelliklerinden etkilenen problemlerdir. Bu nedenle üretim çizelgeleri oluşturulurken, ele alınan üretim sisteminin özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Çok genel anlamda üretim endüstrileri kesikli üretim ve süreç endüstrileri olmak üzere sınıflandırılabilir. Kesikli üretim endüstrilerinde, yüksek çeşitlilikte özelleştirilmiş ürünler üretilmekte ve ürünler birbirlerinden ayırt edilebilmektedir. Süreç endüstrileri ise üretimin fiziksel ya da kimyasal reaksiyonlar yolu ile gerçekleştirildiği, ürünlerin bileşenlerine ayıramadığı ve adetler halinde ifade edilemediği endüstrilerdir.

¹ Bu kitap bölümü Fatma Demircan Keskin'in "SÜREÇ ENDÜSTRİLERİNDE HİBRİT ÜRETİM TİPİ İÇİN ÇİZELGELEME MODELİ" başlıklı doktora tezine dayalı olarak üretilmiştir.

² Dr. Öğr. Üyesi, Ege Üniversitesi İİBF, İşletme Bölümü, fatma.demircan.keskin@ege.edu.tr

³ Prof. Dr., Ege Üniversitesi İİBF, İşletme Bölümü, haluk.soyuer@ege.edu.tr

Kesikli üretim ve süreç endüstrilerinde kullanılan malzemelerin çeşitliliğinde ve ürün rotalarının karmaşıklık düzeyinde farklılıklar bulunduğu için çizelgelenmelerinde göz önünde bulundurulacak faktörler ve bunların ele alınma biçimleri farklılaşmaktadır. Süreç endüstrileri akış ve parti tipi süreçleri içerebilmektedir. Akış tipi üretimde düşük çeşitlilikte ürünler, özel amaçlı makine ve araç-gereçler kullanılarak üretilmekte ve bu makineler ürünlerin işlem sırasına göre yerleştirilmektedir. Bu üretim tipinde süreçler genellikle standarttır ve ürünler aynı rotayı izlemektedir. Akış tipi üretimde genellikle tüm üretim süreci içinde baskın olan ve tüm sürecin hızını belirleyen bir darboğaz süreç bulunmaktadır. Parti tipi süreç endüstrileri, ürün çeşitliliğinin yüksek üretim miktarının düşük olduğu ve üretimin partiler halinde gerçekleştirildiği endüstrilerdir. Parti tipi üretimde, genel olarak üretim sistemi içinde baskın olan tek bir darboğaz süreç bulunmamaktadır. Akış tipi süreç endüstrilerinde çizelgeleme problemleri genellikle darboğaz olan süreçlere odaklanılarak gerçekleştirilmektedir. Süreç endüstrilerinde kapasite kullanımına odaklanması ve üründen ürüne geçiş sürelerinin yüksek olması çizelgeleme problemlerinin parti büyüklüğü belirleme problemleri ile birlikte ele alınmasına yol açmaktadır.

Üretim çizelgeleme problemi son yıllara kadar ağırlıklı olarak kesikli üretim endüstrilerinde incelenmiştir. Son dönemlerde süreç endüstrilerinin talep yapısındaki değişimin ve ürün çeşitliliğindeki artışın da etkisiyle, süreç endüstrilerinde çizelgeleme problemi daha çok ilgi görmeye başlamıştır.

Üretim çizelgeleme ile ilgili günümüze kadar yapılan çalışmalarda çok sayıda model ortaya konmuştur. Geliştirilen modellerin uygulanabilir olması için çizelgeleme probleminin bu endüstriye özgü özellikler ve değişkenlikler göz önünde bulundurularak ele alınması gerekmektedir. Bu kitap bölümünde çizelgeleme problemi süreç endüstrileri bağlamında incelenmekte, hem çizelgeleme süreci, hem süreç endüstrileri, hem de süreç endüstrilerinde bu problemin nasıl ele alınması gerektiği üzerinde durulmaktadır.

ÜRETİM ÇİZELGELEME VE SÜREÇ ENDÜSTRİLERİ

Üretim çizelgeleme süreci işletmeler için büyük önem taşımaktadır. Bu sürecin gerçekçi bir şekilde ele alınabilmesi ve modellenebilmesi için, ele alınan üretim sürecinin özelliklerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu bölümde öncelikle üretim çizelgeleme süreci tanımlanmakta, üretim çizelgeleme kararlarının ilişkili olduğu diğer kararlar, bu kararlar verilirken göz önünde bulundurulacak faktörler açıklanmaktadır. Sonrasında süreç endüstrileri detaylı bir şekilde açıklanmakta ve çizelgelemeyi etkileyen özellikleri sunulmaktadır.

ÜRETİM ÇİZELGELEME

Üretim çizelgeleme, mevcut üretim kaynaklarının belirli bir zaman boyunca, bir dizi kriteri en iyi karşılayacak şekilde atanması şeklinde tanımlanabilmektedir (Graves, 1981). Bir üretim çizelgesi oluşturulurken çizelgenecek işlemlerin gerçekleştirilme sıralamasına karar verilmektedir. Bu sıralama, işlerin başlangıç ve bitiş zamanını, rotada yer alan işlemlerin gerçekleştirilmesi için gerekli olan kaynakların seçimini ve parti büyüklüğünün belirlenmesini içermektedir (White, 1990).

Çizelgeleme kararları, mevcut olan tesis ve ekipman kaynaklarının tanımlandığı kapasite planlama ile başlamaktadır. Kapasite planlarının ardından, 3 aydan 1,5 yıla kadar olan bir zaman dilimini kapsayan bir toplam üretim planı oluşturulmaktadır. Toplam üretim planları, ürünlerin ve kaynakların bütünlük olarak ele alındığı planlardır. Toplam üretim planlarının ürün bazında kırılması ile belirli ürün ya da ürün hatları için daha kısa süreli çizelgeler oluşturan ana üretim programı oluşturulmaktadır. Kısa dönemli çizelgeler ise, kapasite kararları, toplam planlar ve ana üretim programını iş sıralamalarına ve işlere işgücü, malzeme ve makine atamalarına dönüştürmektedir (Heizer & Render, 2006).

Bir üretim çizelgeleme problemi ele alınırken, çizelgenecek işler, makineler, kaynaklar ve performans kriterleri ile ilgili bilgiler kullanılmaktadır. Bir iş, iş için gereksinim duyulan kaynaklar, işin işlem süresi, başlangıç ve bitiş zamanı, diğer işler ile olan öncelik ilişkisi gibi birçok özellik ile tanımlanabilmektedir. Makineler, birden çok işi gerçekleştirebilen makineler olabileceği gibi sadece belli işleri yapabilen özelleşmiş makineler de olabilmektedir.

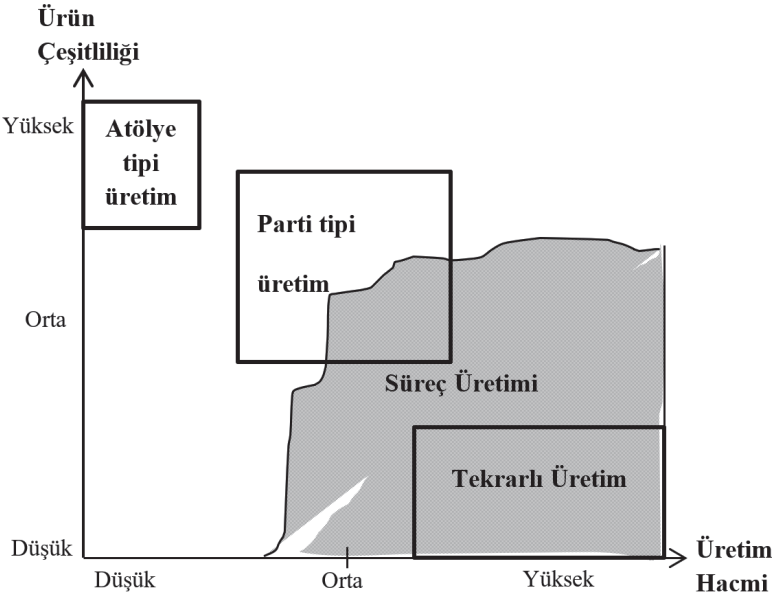
Çizelgelemenin gerçekleştirileceği üretim sürecinin özellikleri, çizelgeleme sürecini doğrudan etkilemektedir (Kılıç, 2011). Süreç endüstrilerinin de çizelgeleme sürecini etkileyen kendine özgü özellikleri bulunmaktadır. Bu endüstri için uygulanabilir bir çizelgeleme modeli oluşturulabilmesi için, endüstrinin çizelgelemeyi etkileyen tüm özellikleri ile birlikte ele alınması gerekmektedir.

Üretim çizelgeleme problemi literatürde sıklıkla ele alınan bir problemdir. Bu alanda yapılan çalışmalarda çok sayıda yaklaşım uygulanmış, modeller ve algoritmalar geliştirilmiştir. Bu model ve algoritmaların işletmelerin üretim süreçlerinin çizelgenmesi sürecinde uygulanabilirliği ile ilgili literatürde çeşitli eleştiriler bulunmaktadır. Üretim çizelgeleme problemi ile ilgili geliştirilen model ve algoritmaların uygulamada kullanımlarının yaygınlaşmamasının nedenleri arasında üretim çizelgeleme probleminin doğru şekilde ele alınmaması gösterilmektedir. Üretim çizelgeleme problemleri, çizelgelemenin gerçekleştiği ortamın değişken yapısı ve endüstriye özgü özelliklerin etkilediği karmaşık yapıları problemlerdir

(Crawford & ark., 1999). Bu alanda yapılan çalışmaların uygulanabilir olması için çizelgeleme probleminin bu endüstriye özgü özellikler ve değişkenlikler göz önünde bulundurularak ele alınması gerekmektedir (Akkerman & van Donk, 2009).

SÜREÇ ENDÜSTRİLERİ

Genel olarak üretim işletmeleri, sahip oldukları üretim sistemlerine göre atölye tipi, parti tipi ve tekrarlı üretim olmak üzere üç ana kategoriye ayrılmaktadır. Bu üç tip, üretim hattının esneklik derecesi, ürün çeşitliliği ve üretim miktarına göre birbirinden farklılaşmaktadır (Jovan, 2002). Şekil 1'de üretim tiplerinin sınıflandırılması sunulmaktadır.



Şekil 1. Üretim Tiplerinin Sınıflandırılması (Jovan, 2002: 1051)

Atölye tipi üretim, çok çeşitli ürünlerin düşük miktarlarda üretildiği, genel amaçlı makinelerin kullanıldığı bir üretim tipidir. Amerikan Üretim ve Stok Kontrol Derneği (APICS)'in sözlüğünün 13. baskısında tekrarlı üretim, aynı kesikli ürün ya da ürün ailelerinin tekrarlı bir şekilde üretilmesi şeklinde tanımlanmıştır. Tekrarlı metodoloji, üretim hatları, montaj hatları ya da hücrelerinin kullanımı ile üründen ürüne geçişlerde yapılan hazırlıkları, stokları ve temin sürelerini minimize etmektedir. Ürünler standarttır ya da modüllerin montajlanması ile oluşturulmaktadır. Parti tipi üretim ise parçaların biriktirildiği ve partiler halinde işlendiği imalat tekniği olarak tanımlanmıştır.

Montaj ve süreç üretimi, imalat işlemlerini tanımlamak için sıklıkla kullanılan diğer iki terimdir. Bazı üretim tesisleri, ürünlerini kesikli birimler halinde değil yığınlar (kitle) halinde üretmektedir. Fiziksel ya da kimyasal reaksiyonlar yolu ile bu tip ürünleri üreten endüstriler süreç endüstrileri olarak adlandırılmaktadır (Jovan, 2002).

APICS' in sözlüğünün 13. baskısında süreç endüstrileri; karıştırma, ayırma, şekil verme ve/veya kimyasal tepkimeler gerçekleştirerek ürün üreten imalatçılar grubudur şeklinde tanımlanmıştır. Craig & ark. (2011) ise süreç endüstrilerini hammaddelerin fiziksel ya da kimyasal olarak dönüştürüldüğü ya da malzeme ve enerji akışının birbiri ile etkileşebildiği ve birbirine dönüşebildiği sektörler olarak tanımlamıştır. Süreç endüstrileri biyolojik/ biyokimyasal/ biyoyakıt, çimento, kimyasal, elektrokimyasal, cam/ seramik, ısıtma, soğutma ve iklimlendirme, mineral ve metal, petrokimyasal/arıtma, tıbbi ürünler, güç üretimi, selüloz ve kağıt ve su sistemlerini ve un değirmenlerini (Craig & ark., 2011; Jovan, 2002) içermektedir.

Süreç endüstrileri ile ilgili yapılan tanımlamaların bir kısmında, birbirinden farklı anlamlara gelen “süreç üretimi (process manufacturing)” ve “süreç akış üretimi (process flow production)” üretim tiplerinin birbirilerinin yerine kullanıldığı görülmektedir. Süreç üretimi karıştırma, ayırma, şekil verme ve/ veya kimyasal tepkimeler gerçekleştirilerek değer katan ve partiler halinde ya da sürekli olarak gerçekleştirilebilen üretim şekli olarak tanımlanmaktadır. Süreç akış üretimi ise, üretim döngülerinin minimum kesinti ile gerçekleştirilmeye çalışıldığı üretim sistemleridir. Süreç endüstrilerinin tamamında süreç üretimi kullanılmaktadır. Öte yandan süreç akış üretiminin, endüstrinin tamamında, gerçekleştirilen tüm üretim aşamalarında kullanılmasına gerek olmayabilmektedir (Abdulmalek, Rajgopal & Needy, 2006).

Süreç endüstrileri, karıştırma ya da öğütme gibi spesifik fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar gerçekleştirilen tekrarlamalı üretim işlemleri ile nitelendirilen endüstrilerdir. Süreç endüstrilerinde ürünler çoğunlukla gaz ya da sıvı yığınlar halinde elde edilmektedir. Süreçler partiler ya da sürekli malzeme akışı şeklinde gerçekleştirilmektedir (Günther & Van Beek, 2003). Süreç endüstrilerinde gerçekleştirilen karıştırma, ayırma, şekil verme ve kimyasal reaksiyonlar genellikle kesikli olmayan ürün ve materyal üzerinde gerçekleştirilen yüksek maliyet ve donanım kurulum gerektiren operasyonlardır (Fransoo & Rutten, 1994).

Literatürde süreç endüstrileri farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Fran-soo & Rutten (1994) süreç endüstrilerinin kendi içindeki değişkenlikleri üretim kontrolü sürecine odaklanarak incelemiştir. Süreç endüstrilerinde kullanılan iki

uç üretim sistemi olan parti tipi ve süreç/akış süreçler ile çerçeveyi çizerek basit bir süreç endüstrisi tipolojisi oluşturmaya çalışmışlardır. Bu sınıflandırmaya göre parti tipinin en uç örneği ilaç, akış tipinin en uç örneği ise petrol üretimidir.

Abdullah (2003) süreç endüstrilerini ürün tiplerine göre setlere ayırmışlardır. Bu setler içinde kağıt ve kağıt ürünleri, kimyasallar, çelik ve metal gibi gruplar yer almaktadır. Abdullah (2003) süreç endüstrilerini aynı zamanda, sürekli olan birimlerin sürecin hangi aşamasında kesikliye dönüştüğünü baz alarak da sınıflandırmıştır. Boya ve petrol üretiminde birimler sürecin sonlarına kadar sürekli olarak ilerlerken, tekstil alt grubunda sürecin başlarında birimler kesikliye dönüşmektedir. Ashayeri, Teelen & Selen (1995) süreç endüstrilerini bu sınıflandırma şekillerinden farklı olarak, üretilen ürün sayısı, üretim sürecinin aşama sayısı ve kullanılan ekipmanların yapısına göre sınıflandırmışlardır.

SÜREÇ ENDÜSTRİLERİNİN ÖZELLİKLERİ

Süreç endüstrilerinin çizelgeleme sürecini etkileyen tipik özellikleri bulunmaktadır. Burada bu tipik özelliklerin literatürde en çok yer verilenlerinden olan hammadde yapısı, ürün reçetelerinin özellikleri, bozulmaya elverişlilik, sürecin izlenebilirliği, hazırlık süreleri, stoklama özellikleri ve enerji tüketimi incelenmektedir.

Hammadde

Süreç endüstrilerinde hammaddeler doğada buldukları ortamdaki madencilik ve tarımcılık yoluyla işlenmemiş olarak elde edilmekte ve bu sebeple kalite ve miktar açılarından değişkenlik gösterebilmektedir. Hammaddelerin bu özellikleri, ürün reçetelerinde değişkenliklere yol açabilmekte, ürünlerin üretim sürelerini ve üretilebilirliklerini etkileyebilmekte ve dolayısıyla çizelgeleme sürecini etkilemektedir (Gunasekaran, 1998).

Ürün Reçeteleri

Süreç endüstrilerinde, hammaddelerin kalite değişkenliğinin olması, ürünlerin reçetelerinde değişkenlikler ortaya çıkarabilmektedir. İstenilen kalitede ürün elde edebilmek için, ürünün reçetesinde yer alan hammadde ve bileşenlerin kalitelerine bağlı olarak reçete içindeki oranlarında değişiklikler yapılması gerekebilmektedir. Aynı zamanda süreç endüstrilerinde, bazı ürünler farklı bileşenlerin farklı oranları ile, farklı kaynaklar kullanılarak farklı sürelerde üretilebilmektedir (Flapper & ark., 2002).

Bozulmaya Elverişlilik

Süreç endüstrileri genellikle bozulmaya elverişli hammadde, ara ürün ve nihai ürünler kullanmaktadır. Hammadde, ara ürün ve nihai ürünlerin bozulmaya el-

verişli olma durumu, stoklama, çizelgeleme gibi üretim ile ilgili çok sayıda kararı etkilemektedir (Akkerman & Van Donk, 2009).

Sürecin İzlenebilirliği

İzlenebilirlik, süreç endüstrilerinin de içinde bulunduğu, üretim sürecinin kesintisiz bir şekilde ya da çok az kesintiyle gerçekleştirilmeye çalışıldığı üretim sistemlerinde büyük önem taşımaktadır. İzlenebilirlik, ürünlerin kalite sapmalarının nedenlerinin belirlenebilmesi ve ortadan kaldırılabilmesi için oldukça önemlidir (Kvarnström & Oghazi, 2008). Süreç endüstrilerinde kullanılan hammaddelerin kalite değişkenlikleri, sürecin dengeli bir şekilde ilerleyebilmesi için sıklıkla büyük miktarda ara stokların kullanılmasını ve geriye doğru akışların gerçekleştirilmesini gerektirmektedir. Değişken ara stok miktarları, geriye doğru akış ve sürekli üretim sistemlerinde üretimin takip edilebilecek partiler halinde ilerlememesi, bir ürünün hangi süreçten ne zaman geçtiğini tahmin edilebilirliğini güçlendirmektedir. Sonuç olarak, nihai ürünlerdeki sapmalar ile hammaddelerin kalite değişkenlikleri arasında neden sonuç ilişkisini belirleyebilmek oldukça güç olmaktadır (Kvarnström & Vanhatalo, 2009). Süreç endüstrilerinde izlenebilirliğin sağlanabilmesi için genellikle izleme sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Hazırlık/Ayar Süreleri

Süreç endüstrileri genellikle düşük ürün çeşitliliğinde büyük miktarda üretimin yapıldığı, kesikli üretim sistemlerinin sahip olduğu esnekliğe sahip olmayan süreçler içeren endüstrilerdir. Süreç endüstrilerinde üründen ürüne geçişlerde yapılması gereken hazırlıkların süresi genellikle oldukça yüksektir (Jovan, 2002; Abdulmalek, Rajgopal & Needy, 2006). Aynı zamanda üründen ürüne geçişlerde yapılan işlemler sırasında malzeme kayıpları da gerçekleşebilmektedir (Flapper & ark., 2002). Bunun yanında ürünlerin üretim sıralamasına bağlı olarak hazırlık süreleri farklılaşabilmektedir. Süreç endüstrilerinin hazırlık ayar süreleri ile ilgili bu özellikleri, üretim çizelgeleme süreci üzerinde önemli etkiye sahiptir.

Stoklama

Süreç endüstrilerinin birçoğunda un, çimento vb. yığınlar halinde üretilen ürünlerin ve ara ürünlerin stoklanmasında silolar kullanılmaktadır. Birbiri ardına gelen iki süreç arasındaki stoklama alanı ile ilgili üç durum söz konusu olabilmektedir: Stoklama alanının olmaması, stoklama alanının büyüklüğünün belirli ve sabit olması (kazan, silo büyüklüğü vb.) ve stoklama alanının sınırsız olması. Süreç endüstrilerinde, montaj hatlarına benzer şekilde süreçlerin öncesi ve sonrasında ara stoklar tutulmaktadır. Süreç endüstrilerinde stoklama alanını genişletmek, kesikli üretim sistemlerine göre daha zordur. Süreç endüstrilerinde karşılaşılan stoklama

kısıtları sadece alan ile sınırlı değildir; aynı zamanda stoklama süresi ile ilgili kısıtlar da bulunabilmektedir (Flapper & ark., 2002).

Enerji Tüketimi

Enerji tüketimi kesikli üretim endüstrilerinin aksine süreç endüstrilerinde çizelgeleme üzerinde önemli etkiye sahip olan bir faktördür. Özellikle paralel parti tipi üretim hatlarında enerji tüketim değişkenliği oldukça yüksek olabilmektedir (Jovan, 2002). Hem enerji tüketim miktarlarındaki yüksek değişkenliğin ortaya çıkarabileceği olumsuzluklar hem de toplam maliyetler içinde önemli bir paya sahip olması nedeniyle, süreç endüstrilerinde çizelgeleme problemi ele alınırken enerji tüketimi göz önünde bulundurulabilmektedir.

SÜREÇ ENDÜSTRİLERİNDE PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ BELİRLEME VE ÇİZELGELEME

Müşterilerin taleplerini, hazırlık ve stok elde bulundurma maliyetlerinin toplamını minimize edecek şekilde üretim partilerine dönüştürme problemi literatürde uzun zamandır incelenmekte olan önemli bir problemdir. Süreç endüstrilerinde üretim süreçleri akış ya da parti tipinde gerçekleşmektedir. Bu iki süreç tipinin birbirinden farklılaştıkları noktalar, çizelgeleme biçimlerini de farklılaştırmaktadır.

Parti tipi süreç endüstrilerinde yüksek çeşitlilikte ürün, düşük miktarlarda ve partiler halinde üretilmektedir. Parti tipi süreç çizelgeleme problemleri, teslimat zamanı ve miktarı belli olan ürün taleplerini karşılayacak şekilde zaman ya da maliyet bazlı olarak belirlenmiş amaçları optimize etmeyi amaçlamaktadır. Bu problemlerde bu doğrultuda her ara ve nihai ürüne ilişkin parti sayısı ve büyüklüğünün belirlenmesi, partilerin kaynaklara atanması ve gerçekleştirilmesi gereken süreçlerin zamanlarının belirlenmesi kararları verilmektedir (Kılıç, 2011). Akış tipi süreç endüstrileri, büyük miktarda üretimin bir ya da birkaç paralel üretim hattında gerçekleştirildiği, genellikle üretim süreci içinde baskın olan bir darboğaz sürecin yer aldığı endüstrilerdir. Akış tipi süreç endüstrilerinin kapasite kullanımına odaklanması ve genel olarak üründen ürüne geçişlerde yapılan hazırlıkların oldukça uzun zaman alması, parti büyüklüğü belirleme ve üretim çizelgeleme probleminin birlikte ele alınmasını gerektirmektedir. Çünkü üretim için kullanılabilir olan kapasite hem partilerin büyüklüğüne hem de sıralamasına bağlı olarak belirlenmektedir (Meyr, 2000). Parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme, üretim planını olurlu ve maliyeti minimize edecek şekilde, ürünlerin hangi periyotta, hangi büyüklükte ve hangi sıralamada üretilmesi gerektiğinin eş zamanlı olarak belirlenmesidir (Haase, 1994).

Parti büyüklüğü ile ilgili araştırmalar klasik Ekonomik Sipariş Miktarı (Economic Order Quantity – EOQ) modeli ile başlamıştır. EOQ modeli herhangi bir kapasite kısıtının olmadığı tek seviyeli üretim sürecini ele almaktadır. Bu model planlama ufkunu sınırsız olarak ele alan bir sürekli zaman modelidir. EOQ modelinin varsayımlarının çok kısıtlayıcı olması nedeniyle başka modeller ortaya çıkarılmıştır. Ekonomik Parti Çizelgeleme Modeli (Economic Lot Scheduling Problem – ELSP), EOQ modeline kapasite kısıtlarının eklenmesiyle oluşturulmuş olan tek seviyeli ve çok birimli bir modeldir. ELSP, EOQ modeli gibi talebi durağan olarak ele alan bir sürekli zaman modelidir. ELSP problemi NP zor problem kategorisinde yer almaktadır (Drexel & Kimms, 1997).

Talebin durağan olarak ele alındığı EOQ ve ELSP modellerinden farklı olarak, talebi dinamik olarak inceleyen modeller de ortaya çıkmıştır. Wagner-Whitin problemi olarak adlandırılan problemde çeşitli kesikli dönemlere bölünebilen sınırlı bir planlama ufku varsayılmaktadır. Talep dönem başına verilmekte ve zaman içinde değişkenlik gösterebilmektedir. Bu problemde kapasite kısıtı göz önünde bulundurulmamaktadır. Daha sonra geliştirilen modeller hem kapasite kısıtını hem de dinamik talebi ele almıştır. Aynı zamanda çizelgelemeyi parti büyüklüğü kararları ile bütünleştiren çalışmalar da gerçekleştirilmiştir (Drexel & Kimms, 1997).

Parti büyüklüğü ve çizelgeleme modelleri zaman periyodu terminolojisine göre genel olarak “büyük kova (big bucket)” ve “küçük kova (small bucket)” problemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Büyük kova problemleri, ele alınan her bir periyotta birden fazla birimin üretimine imkan veren problemlerdir. Küçük kova problemleri ise her periyotta en fazla bir birimin üretilbildiği problemlerdir (Karimi, Ghomi & Wilson, 2003). En basit anlamda, tek aşamalı ve sonsuz üretim kapasiteli, tek ürünlü bir parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme modeli T zaman periyodu boyunca şu şekilde formüle edilebilmektedir.

$$\text{Min } Z = \sum_{t=1}^T h * I_t \quad (1)$$

s.t.

$$I_{t-1} + x_t - I_t = d_t \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (2)$$

$$I_t \geq 0 \text{ ve } x_t \geq 0 \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (3)$$

Modelde h bir periyot boyunca stok elde bulundurma maliyetini, t periyot t sonundaki ürün talebini ifade etmektedir. karar değişkeni t periyodunda üretilen ürün miktarını, karar değişkeni t periyodu sonunda elde bulunan stok miktarını göstermektedir. Amaç fonksiyonu t periyot boyunca stok elde bulundurma ma-

liyetinin toplamını minimize etmeyi ifade etmektedir. (2.2) numaralı kısıt t periyodunun başında elde bulunan stok, t periyodunun talebi ve t periyodu boyunca gerçekleştirilen üretim miktarı ile ilgilidir. (2.3) numaralı kısıt ise karar değişkenlerinin değerinin negatif olmaması kısıtıdır (Staggemeier & Clark, 2001).

Drexel & Kimms (1997), parti büyüklüğü ve çizelgeleme alanında yapılmış olan çalışmaları incelemiş ve bu alanda geliştirilmiş olan tek seviyeli modellerden, sürekli zaman yaklaşımlarından ve bunların çoklu seviyeli uzantılarından bahsetmişlerdir. Tek seviyeli modeller olarak Kapasite Kısıtlı Parti Büyüklüğü Problemi (CLSP), Kesikli Parti Büyüklüğü ve Çizelgeleme Problemi (DLSP), Sürekli Hazırlık/Ayar Parti Büyüklüğü Problemi (CSLP), Oranlı Parti Büyüklüğü ve Çizelgeleme Problemi (PLSP) ve Genel Parti Büyüklüğü ve Çizelgeleme Problemi (GLSP) modellerinden; sürekli zaman parti büyüklüğü ve çizelgeleme yaklaşımı olarak işlerin bölünmeden, talebin tek seferde karşılanması gerektiği varsayımdan hareket eden Partileme ve Çizelgeleme Problemi (BSP) modelinden ve çok seviyeli parti büyüklüğü ve çizelgeleme modellerinden ise Çok Seviyeli (ML) PLSP modelinden detaylı bir şekilde bahsetmişlerdir. Bu modellerin özellikleri, modellerde kullanılan karar değişkenleri ve parametreler Tablo 1-2'de özetlenmiştir.

Parti büyüklüğü ve çizelgeleme modellerinin gelişimi incelendiğinde, modellerde farklılaşan noktaların, kendilerinden önce geliştirilen modellerde literatürde eleştirilen ve eksiklikler bulunduğu belirtilen noktalar üzerinden olduğu görülmektedir. CLSP modeli, parti büyüklüğü ve çizelgeleme problemlerini ayrı ayrı ele almakta, bütünleştirmemektedir. CLSP modelindeki periyotların çok sayıda küçük periyoda bölünmesi ile oluşan DLSP modeli, belli bir sayıda eşit uzunlukta periyotlara bölünmüş olan zaman eksenine sahip, bir periyotta en fazla bir ürünün üretilmesine izin veren ve eğer ürün üretilecekse ilgili periyodun tüm kapasitesinin kullanılması gerektiği varsayımına sahip olan bir modeldir. Modelin “ya hep ya hiç” olarak nitelendirilen bu varsayımından dolayı eleştirilmesi ile birlikte bu varsayımı esneten CSLP modeli oluşturulmuştur. Bu modelde de bir periyotta en fazla bir ürün üretilmektedir; ancak periyodun kapasitesi tamamen kullanılmak zorunda değildir. Aynı zamanda CSLP modelinde, DLSP modelinden farklı olarak aynı ürüne ait iki parti arasında boş periyotların olması durumunda ek bir ayar/hazırlık maliyeti oluşmamaktadır. CSLP modeline, bir periyodun kapasitesinin tek bir ürünün üretimi ile tamamen kullanılmaması durumunda geriye kalan kapasitenin başka bir ürünün üretilmesi ile kullanılmasına izin vermemesi nedeniyle eleştiriler yöneltilmiştir. Bu noktadan hareketle PLSP modeli oluşturulmuştur. PLSP modelinde bir periyotta en fazla iki tip ürünün üretilmesine izin verilmektedir. Bu sayede tek ürün tipinin üretimi ile periyodun kapasitenin tamamen kullanılmaması durumunda ikinci ürünün üretimi yapılabilecek ve periyodun atıl kalan kapasitesi kullanılabilir. GLSP modeli, büyük kova

ve küçük kova modellerinin birleştirilmesi ile oluşturulmuş bir modeldir. Model, içinde birden fazla birimin üretilebildiği makro periyotlar içermektedir. Makro periyotlar ise içinde en fazla bir birimin üretilebildiği n tane mikro periyot içermektedir. BSP modelinde partileme ve çizelgeleme kararları verilmektedir (Drexel & Kimms, 1997).

Drexel & Kimms (1997)'nin parti büyüklüğü ve çizelgeleme problemi ile ilgili 1996 yılına kadar yapılan çalışmaları özetlediği çalışmasından sonra bu standart modellerde bazı değişiklikler yapan, bu değişikliklere göre modellerin formülasyonunu yeniden kurgulayan, birden çok modeli birlikte kullanan çalışmalar ortaya konmuştur. Burada bu modeller ve çalışmalar ile ilgili bilgiler sunulmuştur.

CLSP

CLSP modeli, parti büyüklüğü ve çizelgeleme problemlerini ayrı ayrı ele alan bir büyük kova modelidir. Standart CLSP'de bir periyot içinde ürün sıralaması gerçekleştirilmemekte, herhangi bir üründen ürüne geçiş olmasa bile her periyotta hazırlık maliyetinin olduğu varsayılmaktadır. Literatürde CLSP'yi uygulayan çalışmalara bakıldığında, gereksiz hazırlık maliyetlerini önlemek için standart model üzerinde birtakım değişiklikler yapıldığı görülmektedir. Örneğin Almada-Lobo & ark. (2007) cam kap üretim sektöründe ortaya çıkan tek aşamalı çoklu birimli kapasite kısıtlı parti büyüklüğü problemini, hazırlık süreleri ve maliyetlerinin sıralamaya bağımlı olduğu durumda ele almışlardır. Çalışmalarında geliştirdikleri matematiksel model, arka arkaya birden çok periyotta aynı ürünün üretilmesi ve atıl periyotlar bulunması durumunda gereksiz hazırlık yapılmasını engellemektedir.

Literatürde CLSP'yi sıralamadan bağımsız hazırlık süreleri ve maliyetleri ile inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Gopalakrishnan, Miller & Schmidt (1995), tek makineli CLSP modelini geliştirerek çok makineli bir modelleme yapısı oluşturmuş ve klasik CLSP modelinde bulunmayan hazırlık durumunun periyotlar arasında aktarılması özelliğini bu yapıya eklemişlerdir. Bu yapıda hazırlık sürelerini üründen ve sıralamadan bağımsız olarak ele almışlardır. Gopalakrishnan (2000), Gopalakrishnan, Miller & Schmidt (1995)'in modelleme yapısında üründen bağımsız olarak ele alınan hazırlık sürelerinin gerçek hayat problemlerini ele almakta yetersiz kaldığı noktasından hareketle, hazırlık sürelerini ve maliyetlerini ürün bağımlı hale getirmiştir. Hazırlık süreleri ve maliyetleri halen sıralamadan bağımsızdır. Gopalakrishnan & ark. (2001) hazırlık durumunun taşındığı CLSP modeli için bir tabu arama algoritması geliştirmiştir. Suerie & Stadtler (2003) CLSP'yi için yeni bir model formüle etmişlerdir. Sıralamadan bağımsız hazırlık sürelerini kullandıkları modellerinde, bir hazırlık durumu bir periyottan bir sonraki periyoda aktarılabilir. - 167 -

Tablo 1. Parti Büyüklüğü ve Çizelgeleme Modelleri (1)			
Model	Kullanılan Karar Değişkenleri	Kullanılan Parametreler	Modelin Özellikleri
CLSP	<ul style="list-style-type: none"> * j ürünü için t periyodu sonunda elde bulunacak stok miktarı * j ürünü için t periyodunda gerçekleştirilecek üretim miktarı * j ürünü için t periyodunda hazırlık yapılıp yapılmayacağı (0-1) 	<ul style="list-style-type: none"> * t periyodunda makinenin kullanılabilir kapasitesi * j ürünü için t periyodundaki talep miktarı * j ürünü için stok bulundurma maliyeti * j ürünü için başlangıç stok miktarı * Ürün sayısı * j ürününden bir birim üretmek için gerekli olan kapasite miktarı * j ürünü için ayar/hazırlık maliyeti * Periyot sayısı 	<ul style="list-style-type: none"> * Bir periyotta birden fazla ürünün üretilmesine imkan tanıdığı için büyük kova problemleri sınıfına girmektedir. * Bu modelde parti büyüklüğü ve çizelgeleme problemi bütünleştirilmemiştir. Genellikle ilk olarak CLSP çözülmekte ve ardından her periyot için ayrı ayrı çizelgeleme problemi çözülmektedir.
DLSP	<ul style="list-style-type: none"> * j ürünü için t periyodu sonunda elde bulunacak stok miktarı * j ürünü için t periyodunda gerçekleştirilecek üretim miktarı * j ürünü için t periyodunda hazırlık yapılıp yapılmayacağı (0-1) * j ürünü için t periyodunda makinede ayar/hazırlık yapılıp yapılmayacağı (0-1) 	<ul style="list-style-type: none"> * t periyodunda makinenin kullanılabilir kapasitesi * j ürünü için t periyodundaki talep miktarı * j ürünü için stok bulundurma maliyeti * j ürünü için başlangıç stok miktarı * Ürün sayısı * j ürününden bir birim üretmek için gerekli olan kapasite miktarı * j ürünü için ayar/hazırlık maliyeti * Periyot sayısı * 1. periyodun başında j ürünü için makinede ayar/hazırlık yapılıp yapılmadığı 	<ul style="list-style-type: none"> **"Ya hep ya hiç" varsayımı. Bu varsayımın göre bir periyotta en fazla tek bir ürün üretilmektedir ve bu üretim sırasında tüm kapasite kullanılmaktadır.

<p>CSLP</p>	<p>* j ürünü için t periyodu sonunda elde bulunacak stok miktarı * j ürünü için t periyodunda gerçekleştirilecek üretim miktarı * j ürünü için t periyodunda hazırlık yapılıp yapılmayacağı (0-1) * j ürünü için t periyodunda makinede ayar/hazırlık yapılıp yapılmayacağı (0-1)</p>	<p>* t periyodunda makinenin kullanılabilir kapasitesi * j ürünü için t periyodundaki talep miktarı * j ürünü için stok bulundurma maliyeti * j ürünü için başlangıç stok miktarı * Ürün sayısı * j ürününden bir birim üretmek için gerekli olan kapasite miktarı * j ürünü için ayar/hazırlık maliyeti * Periyot sayısı * 1. periyodun başında j ürünü için makinede ayar/hazırlık yapılıp yapılmadığı</p>	<p>*"Ya hep ya hiç" varsayımı esnetilmiştir. * Bir periyotta en fazla bir ürün üretilir. * Periyodun kapasitesi tamamen kullanılmak zorunda değildir. * Aynı ürüne ait iki parti arasında boş periyotların olması durumunda ek hazırlık maliyeti ortaya çıkmamaktadır.</p>
<p>PLSP</p>	<p>* j ürünü için t periyodu sonunda elde bulunacak stok miktarı * j ürünü için t periyodunda gerçekleştirilecek üretim miktarı * j ürünü için t periyodunda hazırlık yapılıp yapılmayacağı (0-1) * j ürünü için t periyodunda makinede ayar/hazırlık yapılıp yapılmayacağı (0-1)</p>	<p>* t periyodunda makinenin kullanılabilir kapasitesi * j ürünü için t periyodundaki talep miktarı * j ürünü için stok bulundurma maliyeti * j ürünü için başlangıç stok miktarı * Ürün sayısı * j ürününden bir birim üretmek için gerekli olan kapasite miktarı * j ürünü için ayar/hazırlık maliyeti * Periyot sayısı * 1. periyodun başında j ürünü için makinede ayar/hazırlık yapılıp yapılmadığı</p>	<p>* Bir periyotta en fazla iki tip ürün üretilmektedir. * Aynı ürüne ait iki parti arasında boş periyotların olması durumunda ek hazırlık maliyeti ortaya çıkmamaktadır.</p>

Tablo 2. Parti Büyüklüğü ve Çizelgeme Modelleri (2)			
Model	Kullanılan Karar Değişkenleri	Kullanılan Parametreler	Modelin Özellikleri
GLSP	<ul style="list-style-type: none"> * j ürünü için t periyodu sonunda elde bulunacak stok miktarı * j ürününün n pozisyonundaki üretim miktarı * n pozisyonunda j ürünü için bir hazırlık yapıp yapılmayacağı (0-1) *Makinenin j ürününü n pozisyonunda üretmek için hazır olup olmadığı (0-1) 	<ul style="list-style-type: none"> *t periyodunda yer alacak maksimum parti sayısı * t periyodunda makinenin kullanılabilir kapasitesi * j ürünü için t periyodundaki talep miktarı * j ürünü için stok bulundurma maliyeti * j ürünü için başlangıç stok miktarı * Ürün sayısı * j ürününden bir birim üretmek için gerekli olan kapasite miktarı * j ürünü için ayar/hazırlık maliyeti * Periyot sayısı *1. periyodun başında j ürünü için makine de ayar/hazırlık yapıp yapılmadığı 	<ul style="list-style-type: none"> *Periyotlardaki parti sayısını kullanıcının tanımladığı parametreler sınırlandırmaktadır. *Modelde parti büyüklüğü durağan talep ile birlikte ele alınmakta, her parti sıralamayı belirlemek için tek bir pozisyon numarasına atanmaktadır. * Aynı ürüne ait iki parti arasında boş periyotların olması durumunda ek hazırlık maliyeti ortaya çıkmamaktadır.
BSP	<ul style="list-style-type: none"> *n işinin tamamlanma süresi *n işinin k işinden hemen önce gerçekleştirilecek şekilde çizelgelenip çizelgenmediği (0-1) 	<ul style="list-style-type: none"> *Büyük sayı *n işinin son teslim tarihi * j ürünü için stok bulundurma maliyeti *n işinde talebi bulunan ürün *İş sayısı *n işinin işlem süresi *Ürünlerin sıralamaya bağlı ayar/hazırlık maliyetleri 	<ul style="list-style-type: none"> *Her talep son teslim tarihi ve büyüklüğü ile nitelendirilmektedir. *Talepler iş olarak ifade edilmekte ve talebin büyüklüğü işin işlenme süresini belirlemektedir. * Kapasitenin (örneğin makinenin işlem hızı) zamana bağlı olarak değişkenlik göstermediği varsayılmaktadır ve bu nedenle bir işin gerçekleştirilme süresi çizelgeye bağlı değildir. *İşler parçalara ayrılmamaktadır. * Aynı ürüne ait iki parti arasında boş periyotların olması durumunda ek hazırlık maliyeti ortaya çıkmamaktadır.

<p>MPLSP</p>	<p>* j ürünü için t periyodu sonunda elde bulunacak stok miktarı *j ürünü için t periyodunda gerçekleştirilecek üretim miktarı *j ürünü için t periyodunda hazırlık yapılıp yapılmayacağı (0-1) *j ürünü için t periyodunda makinede ayar/hazırlık yapılıp yapılmayacağı (0-1)</p>	<p>*Gozinto faktörü *m makinesinin t periyodundaki kullanılabilir kapasitesi *j ürünün t periyodundaki talebi *Stokta bir birim j ürününü bir periyot tutmanın maliyeti *j ürünün başlangıç stoku miktarı *m makinesinde işlem gören ürün seti *Ürün sayısı *Makine sayısı *j ürünün ürettiği makine *j ürünün bir birimini üretmek için gerekli olan kapasite *j ürünü için ayar/hazırlık maliyeti *j ürünün bitişik ardıllarının seti *Periyot sayısı *j ürünün termiini *Başlangıç ayar/hazırlık durumu</p>	<p>* Birçok özelliği tek seviyeli PLSP modeli ile ortaktır.</p>
---------------------	---	--	---

Quadt & Kuhn (2005) esnek akış tipi üretimde parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme problemini süreç endüstrilerinde ele almıştır. Problemi CLSP temelinde modellemişlerdir. Modellerinde üründen ürüne geçiş, stok tutma ve yok satma maliyetlerini ve ortalama akış süresini minimize etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada önerdikleri çözüm yaklaşımı, darboğaz planlama, ürün aileleri bazında çizelgeleme ve ürün bazında nihai çizelgelerin oluşturulması olmak üzere üç aşamalı bir yaklaşımdır. Yaklaşımlarını gerçek bir problem üzerinde uygulamışlar ve ortalama akış süresinde önemli oranda bir düşüş elde etmişlerdir.

Literatürde CLSP 'yi hazırlık sürelerini ve maliyetlerini sıralamaya bağımlı olarak ele alan çalışmalar da bulunmaktadır. Haase (1996) CLSP'yi sıralamaya bağımlı hazırlık maliyetleri ile birlikte ele almıştır ve problemi CLSD şeklinde adlandırmıştır. Problem için oluşturduğu modelde sürekli parti büyüklükleri kullanılmış ve atıl periyotlar boyunca hazırlık durumu korunmuştur. Clark & Clark (2000) paralel makineli CLSP problemini sıralama bağımlı hazırlık süreleri ile ele almışlardır. Çalışmalarında geliştirdikleri yeni formülasyon planlama periyodunda birden çok hazırlık işlemi gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Almada-Lobo & ark. (2007) tek makineli CLSP'yi sıralama bağımlı hazırlık süreleri ve maliyetleri ve hazırlık durumunun periyotlar arasında aktarılması özelliği ile birlikte ele almış ve bu problem için iki alternatif karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP) modeli formülasyonu oluşturmuşlardır. Geliştirdikleri modellerin karmaşık yapıda olması ve çok sayıda kısıt içermesi nedeniyle, çözüm için bir sezgisel yöntem önermişlerdir. Gupta & Magnusson (2005) tek makineli CLSP'yi sıralamaya bağımlı hazırlık maliyetleri ve süreleri ile ele almışlardır. Modellerinde hazırlık durumlarının taşınabilir ve atıl periyotlar boyunca korunabilir olma özelliklerini de göz önünde bulundurmışlardır. Ele aldıkları problemin büyük boyutlu örneklerinin çözümü için bir sezgisel yöntem önermişlerdir. Almada-Lobo, Oliveria & Caravilla (2008), Gupta & Magnusson (2005)'un çalışmasında geliştirmiş oldukları modelin birbirleriyle bağlantısız alt tur oluşmasını engellemesini ileri sürmüşler ve modelin olurluluğunu kesinleştirmek için bu modele yeni kısıtlar eklemişlerdir. Süreç endüstrilerinde parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme problemini ele alan bir diğer çalışmada Li & Kubo (2008), problemi kapasite kısıtı altında, sıralamaya bağlı hazırlık sürelerini göz önünde bulundurarak ele almışlardır. Problem için bir karma tamsayı matematiksel programlama modeli geliştirmişler, çözümü için ise Gevşet ve Sabitle sezgiselini uygulamışlardır.

DLSP

Diğer bir parti büyüklüğü ve çizelgeleme modeli olan DLSP, en temel küçük kova problemlerinden biridir. DLSP modelinde kesikli zaman gösterim yapısı kullanılır.

maktadır. DLSP modelinin temel eksikliği, bir periyotta en fazla bir ürünün üretilmesine izin veren ve eğer ürün üretilecekse ilgili periyodun tüm kapasitesinin kullanılması gerektiğini ifade eden “ya hep ya hiç” varsayımdır (Brahimi & ark., 2006).

Park & Kim (2000), klasik DLSP modelinde yer alan, herhangi bir ürün geçişi yapılmamış olsa bile bir ürünün yeni üretim partisine başlandığı anda hazırlık maliyetinin ortaya çıktığı varsayımını değiştirerek DLSP’yi yeniden formüle etmişlerdir. Bu formülasyona göre sadece başka bir ürünün üretimine geçildiğinde hazırlık maliyeti oluşmaktadır. Çalışmalarında hazırlık sürelerini sabit olarak almışlardır.

Literatürde DLSP’yi sıralamadan bağımsız hazırlık süreleri ile ele alan çalışmalar bulunmaktadır. Cattrysse & ark. (1993) DLSP’yi ürünlerin üretimine başlama sürelerini göz önünde bulundurarak ele almışlardır. Çalışmalarında hazırlık süreleri ve maliyetleri ürüne bağlı olarak ifade edilmiştir. Problemi küme bölme problemi olarak formüle etmiş ve çözüm için ikili tırmanış ve sütun türetimi sezgisellerini kullanmışlardır. Brüggemann & Jahnke (2000) tek makineli çok ürünlü, sıralamadan bağımsız hazırlık süreli DLSP modelini parti elverişliliği ile birlikte ele almışlardır. Parti elverişliliği ile ilgili kısıtlar ekleyerek oluşturdukları MILP modelinin çözümü için tavlama benzetimi temelli iki aşamalı bir sezgisel önermişlerdir. Jans & Degraeve (2004) uluslararası bir araba lastiği üreticisinin gerçek parti büyüklüğü ve çizelgeleme problemini ele almışlardır. Bu problem her ürün için üretime başlama süresi, farklı özellikteki alternatif makineler, kapasite kısıtlı çoklu kaynaklar ve siparişlerin karşılanamaması durumlarını içermektedir. Çalışmada problem tüm bu unsurların bütünlüklü bir şekilde göz önünde bulundurulduğu bir DLSP olarak incelenmiştir. Çözüm yöntemi olarak sütun türetimi temelli bir algoritma önermişlerdir.

Salomon & ark. (1997) DLSP’yi sıralama bağımlı hazırlık süreleri ve maliyetleri ile ele almışlar ve problemi DLSPSD şeklinde ifade etmişlerdir. İnceledikleri problemi zaman pencereli gezgin satıcı problemi olarak formüle etmişler ve dinamik programlama ile çözmüşlerdir. DLSPSD’yi ele alan diğer bir çalışma Gicquel, Minoux & Dallery (2009)’un çalışmalarıdır. Bu çalışmada Wolsey (2002)’nin geliştirmiş olduğu model genişletilerek bir formülasyon oluşturulmuştur. Geliştirdikleri karma tam sayılı programlama (MIP) modelinin çözümünü ticari bir yazılımın çözücüsü ile gerçekleştirmişlerdir. Gicquel, Minoux & Dallery (2011) daha sonra DLSP’yi özdeş paralel makineler ile ele almış ve problemin çözümü için bir karma tam sayılı programlama çözüm yaklaşımı önermişlerdir.

CSLP

CSLP, DLSP'nin "ya hep ya hiç" varsayımının esnetildiği bir modeldir. CSLP'de de bir periyotta en fazla bir ürün üretilebilmektedir, ancak periyodun kapasitesi tamamen kullanılmak zorunda değildir. CSLP modelinde, DLSP modelinden farklı olarak aynı ürüne ait iki parti arasında boş periyotların olması durumunda ek bir ayar/hazırlık maliyeti oluşmamaktadır (Drexel & Kimms, 1997).

Vanderbeck (1998) bir diğer parti büyüklüğü ve çizelgeleme modeli olan CSLP'yi ele almıştır. İncelediği problem tek aşamalı, tek modlu, çok birimli, sürekli hazırlıkların ve sıralamaya bağlı üretim başlatma sürelerinin göz önünde bulundurulduğu bir parti büyüklüğü problemidir. Tek modlu üretim bir makine ya da hattın bir periyotta sadece bir ürünü işleyebildiğini varsaymaktadır. Sürekli hazırlık modelinde, üretim miktarı kapasiteyi aşmayacak şekilde herhangi bir değer alabilmektedir. Çözüm yöntemi olarak bir tam sayılı programlama sütun türetme algoritması kullanılmıştır.

Marinelli, Nenni & Sforza (2007) çalışmalarında bir paketleme firmasının gerçek parti büyüklüğü ve çizelgeleme problemini hibrit bir CSLP- CLSP modeli ile formüle ederek ele almışlardır. Problem tampon stok oluşturma ve işleme aşamalarını içeren, ortak ve kapasite kısıtlı ara stoklar tarafından beslenen, bir-biri ile ilişkisiz paralel makineli, hazırlık sürelerinin ve maliyetlerinin sıralamaya bağlı olduğu bir parti büyüklüğü ve çizelgeleme problemidir. CSLP modelinin bir periyotta en fazla bir ürün üretilebilmesi ve kaynak kapasitesinin istenildiği kadar kullanılabilmesine imkan tanınması özellikleri tampon stok oluşturma aşaması için kullanılmıştır. CLSP'yi ise, operasyonların sıralanmasının önemli olmadığı işleme sürecinde kullanmayı tercih etmişlerdir. Çözüm yöntemi olarak, problemi parti büyüklüğü ve çizelgeleme problemine ayıran iki aşamalı bir sezgisel kullanılmıştır.

PLSP

PLSP, DLSP ve CSLP'nin bir periyotta en fazla bir ürün üretilebilir varsayımlarını esnetmiştir. PLSP modelinde bir periyotta tek bir ürünün üretimi ile periyot kapasitesinin tamamen kullanılmaması durumunda ikinci ürünün üretimi yapılabilmektedir (Kimms & Drexel, 1998b).

PLSP, Drexel & Haase (1995) tarafından iki farklı şekilde ele alınmış ve formüle edilmiştir. İlkinde hazırlık süreleri ve maliyetleri sıralamadan bağımsız bir şekilde göz önünde bulundurulmuştur. İkincisinde ise çoklu makine durumunu değerlendirmişlerdir. Çözüm yöntemi olarak geriye yönlendirilmiş pişmanlık tabanlı yanlı rassal örnekleme yöntemini kullanmışlardır. Suerie (2006) PLSP'yi

hazırlık sürelerinin planlama periyodunun süresinden uzun olduğu durumda ele almış ve iki karma tam sayılı programlama model formülasyonu önermiştir. Tempelmeier & Buschkühl (2008) dinamik, kapasite kısıtlı, çok ürünlü ve makineli, hazırlık işlemlerinin eş zamanlı olarak çizelgelendiği bir parti büyüklüğü problemini ele almışlardır. Bu problem için PLSP ve GLSP modellerinin özelliklerini bir araya getiren bir modelleme yaklaşımı kullanmışlardır. Kaczmarczyk (2011) PLSP'yi özdeş paralel makine durumunda, sıralamaya bağlı üründen ürüne geçiş değişkenleri kullanarak formülize etmiştir. Önerdiği modelde 0-1 değişkenleri yerine tam sayı değişkenler kullanmıştır. 0-1 değişkenlerini kullanmanın, tek farklılığı makinelerin farklı şekilde numaralandırılması olan çok sayıda çözüm ortaya çıkardığını ifade ederek, tam sayı değişkenler kullanarak yeni bir formülasyon ortaya çıkarmıştır. Tam sayılı modelin, 0-1 modeline göre daha az değişken ve kısıt içerdiğini ve bu sayede daha büyük boyutlu problemlerin çözümüne daha elverişli olduğunu ifade etmiştir.

GLSP

GLSP küçük ve büyük kova modellerinin avantajlarını bir araya getirmek üzere oluşturulmuş olan hibrit bir modeldir. Klasik GLSP modeli mantığında sabit uzunluklu, süresi belirli olan makro periyotlar ve bu periyotlar içinde sayısı belirli ama süresi belli olmayan ve birbiri ile kesişmeyen mikro periyotlar yer almaktadır. Makro periyotların uzunluğu dış sistem dinamikleri olan talep, stok elde bulundurma maliyeti vb. ne bağlı olarak belirlenmektedir. Sistemin iç dinamiklerine bağlı olarak makro periyotlar içinde yer alan mikro periyotların sürelerine karar verilmektedir. GLSP'de durum değişiklikleri mikro periyotların başında ya da sonunda gerçekleşebilmektedir. "Ya hep ya hiç" varsayımı mikro periyotlar için geçerlidir. Mikro periyotların uzunlukları modelde karar değişkeni olarak yer almaktadır (Fleischmann & Meyr, 1997).

Fleischmann & Meyr (1997), GLSP'yi sıralamaya bağlı hazırlık maliyeti ve minimum parti büyüklüklerini göz önünde bulundurarak ele almışlardır ve modellemiştir. Bu modelde Meyr (2000) sıralamaya bağlı hazırlık sürelerini göz önünde bulundurarak geliştirme yapmış, ardından bu modeli de Meyr (2002) özdeş olmayan çok makineli ortama genişletmiştir. Fleischmann & Meyr (1997) çözüm yöntemi olarak geriye yönlendirilmiş açgözlü sezgiselini, Meyr (2000) ve Meyr (2002) ise dual yeniden optimizasyon ile eşik kabulü ve tavlama benzetimi yaklaşımlarını bütünleşik olarak kullanmışlardır. Koçlar & Süral (2005), Fleischmann & Meyr (1997)'in geliştirmiş olduğu GLSP formülasyonunun minimum parti büyüklüğü kısıtı ile ilgili bir geliştirme yapmışlardır. Koçlar (2005) çok ürünlü, tek seviyeli, hazırlık süreleri ve maliyetlerinin sıralamaya bağlı olduğu GLSP'yi ele

almıştır. Modelleme aşamasında literatürde yer alan GLSP formülasyonlarındaki kısıtlayıcı varsayımları esnetmeye ve daha kapsamlı ve genel bir model oluşturmaya çalışmıştır. Üründen ürüne geçiş sürelerinin üçgen eşitsizliğini sağlaması, bir ürünün bir periyotta üretimine başlanabilmesi için o ürünün bir önceki periyotta stoğunun bulunmaması gerektiği gibi varsayımlar, Koçlar (2005)'in elimine ettiği kısıtlayıcı varsayımlardandır. Kısıtlayıcı varsayımların esnetilmesinin yanında, literatürde yer alan GLSP formülasyonlarını güçlendirmek için formülasyonlara bazı eşitsizliklerin eklenebileceğini ifade etmiştir. Bu eşitsizlikleri amaçlarına göre iki gruba ayırmışlardır. İlk grubu LP gevşetmesini güçlendirmek için hazırlanan üründen ürüne geçişler ile ilgili geçerli eşitsizlikler oluşturmaktadır. İkinci grupta ise gereksiz tam sayı çözümleri ortadan kaldırmayı amaçlayan eliminasyon kısıtları yer almaktadır. Koçlar (2005) aynı zamanda GLSP'yi ulaştırma problemini temel alarak yeniden formülize etmiştir. Oluşturdukları formülasyonun MIP ve LP gevşetmesi performansını, literatürdeki veri setlerini kullanarak test etmiştir. Büyük boyutlu problemlerin çözümü için k- En Yakın Sezgisel (k-Nearest heuristic) olarak adlandırılan sezgisel yaklaşımını kullanmıştır.

Literatürde GLSP'yi çok seviyeli olarak ele alan çalışmalar da bulunmaktadır. Fandel & Stammen-Hegene (2006), çok seviyeli genel parti büyüklüğü ve çizelgeleme problemini (MLGLSP) çok makineli ortamda, sıralamaya bağlı hazırlık süreleri ve maliyetleri ile ele almışlar ve problem için bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model tek seviyeli GLSP'yi temel almaktadır. Araujo, Arenales & Clark (2007), ilk aşamada anahtar materyallerin üretileceği makinelerin çizelgelendiği, ikinci aşamada ise bunların nihai ürünlerin üretiminde kullanıldığı iki aşamalı üretim sistemlerini ele almışlardır. İnceledikleri parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme problemi GLSP ile yakından ilişkilidir. Problem için geliştirdikleri model, karşılanamayan siparişleri ve sıralamaya bağlı hazırlık süreleri ve maliyetlerini göz önünde bulundurmaktadır. Çalışmada RF ve yerel arama yaklaşımları ile doğrusal programlamanın bütünleştirildiği hibrit bir metot geliştirilmiştir.

Transchel & ark. (2011) süreç endüstrisinde faaliyet gösteren bir firmanın iki aşamalı, çok ürünlü gerçek hayat üretim planlama ve çizelgeleme modelini, sıralamaya bağlı hazırlık süreleri ve maliyetleri ile ele almışlardır. Çalışmada, ele alınan probleme özgü özellikler göz önünde bulundurularak GLSP tabanlı hibrit bir optimizasyon modeli sunulmuştur. Geliştirilen modelin hesaplanma performansını artırmak için ulaştırma problemlerini temel alarak iki yeni formülasyon oluşturmuşlar ve modellerin performanslarını karşılaştırmışlardır. Minimum parti büyüklüklerinin performansı etkileyen önemli bir faktör olduğunu ifade etmişlerdir. Seanner & Meyr (2013) çok ürünlü ve çok seviyeli, her seviyede heterojen paralel

üretim hatlarının bulunduğu akış tipi üretim sistemlerinde parti büyüklüğü ve çizelgeleme problemini ele almışlardır. Meyr (2004)'ün oluşturduğu çok seviyeli GLSP modellerinden çok ürünlü, dinamik deterministik talepli, çok seviyeli, her seviyenin paralel ve özdeş olmayan üretim hatları içerdiği, kapasitenin kısıtlı olduğu, sıralamaya bağlı hazırlık sürelerinin bulunduğu, siparişlerin karşılanamama durumuna izin verilmediği varyasyonu temel alarak geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelin temel mantığı, farklı seviyelerdeki tüm üretim hatları için ortak zaman yapısı kullanmaktır. Bu sayede seviyeler arasında kısa geçiş süreleri modelleyebilmişlerdir. Modelin çözüm süresinin iyileştirilmesi için çeşitli şekillerde formülasyonları oluşturulmuştur. Çözüm için standart MIP çözücü kullanılmış, çözüm süresinin kabul edilebilir düzeylerde olmaması nedeniyle MIP temelli sezgiseller uygulanmıştır.

Camargo, Toledo & Almada-Lobo (2012), süreç endüstrilerinde iki aşamanın birbiri ile iki aşamalı parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme problemini, farklı zaman gösterim biçimleri kullanarak geliştirdikleri üç farklı matematiksel modelle ele almışlardır. İlk model GLSP, bir sonraki model CLSD tabanlı, son model ise üretim miktarlarının atanacağı dilimlerin uzunluklarının belirli olmadığı bir sürekli zaman modelidir. Çeşitli test problemlerinde modellerin performansları karşılaştırıldığında, GLSP temelli modelin kısa sürede başarılı çözümlere ulaştığı, CLSD tabanlı modelin bazı problemlerde GLSP temelli modelden hem daha hızlı hem de optimale daha yakın çözümlere ulaştığı bulgusuna ulaşılmıştır. Üçüncü modelin performansı ise diğer iki modelin oldukça altında kalmıştır.

Figueira & ark. (2015), parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme problemini süreç endüstrilerinden biri olan kağıt hamuru ve kağıt endüstrisindeki bir gerçek problem üzerinde incelemişler ve problem için GLSP temelli bir model geliştirmişlerdir. Endüstrinin kendine özgü özelliklerini göz önünde bulundurarak, firmanın mevcut bilgi sistemleri ile entegre çalışan bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Wei & ark. (2019) süreç endüstrilerinde klasik çok seviyeli GLSP problemini, bozulabilirliği de göz önünde bulundurarak ele almışlardır. Amaç fonksiyonları satın alma, üründen ürüne geçiş ve stoklama maliyetlerinin toplamından oluşan toplam maliyetin minimizasyonunu ifade etmektedir. Modelde hem hammaddelerin, hem ara ürünlerin hem de nihai ürünlerin farklı bozulabilirlik özelliklerine yer verilmiştir.

BSP

BSP modelinde talep, karşılanması gereken zaman ve büyüklüğü ile ifade edilmektedir. Modelde talep iş şeklinde kullanılmaktadır. Kapasitenin zamana bağlı olarak değişmediği varsayımı bulunmaktadır. Aynı zamanda işlerin bölümlere

ayrılmayacağı yani talebin tek parça halinde işlenmesi kısıtı bulunmaktadır. Bir birime ilişkin farklı talepler gruplandırılarak tek parti haline getirilebilmekte ve bu sayede hazırlık maliyetleri azaltılabilmektedir. Model bu özelliği nedeniyle 'Partileme ve Çizelgeleme' şeklinde adlandırılmıştır (Drexel & Kimms, 1997).

Dobson & Nambimadom (2001) özellikle çelik ve seramik gibi ısıl işlem tesislerinin bulunduğu endüstrilerde sıklıkla karşılaşılan partileme ve çizelgeleme problemini ele almışlardır. İnceledikleri problemde belirli ürün ailelerine ait, belirli gecikme maliyetleri olan ve işlenmeyi bekleyen işler bulunmaktadır. İşler, sadece aynı ürün ailesinden olan işlerin bir araya getirilebileceği partiler haline getirilmeye çalışılmaktadır. Partilerde yer alan işlerin toplam işlenme süreleri, ilgili işleyicinin kapasitesini aşmamalıdır. Amaçlanan ağırlıklandırılmış ortalama akış süresini minimize edecek şekilde partileri belirlemek ve çizelgelemektir. Çalışmada problem için bir tam sayılı programlama modeli oluşturulmuş ve kısmi doğrusal programlama (LP) gevşetmesi ile bir alt sinir üretilmiştir. Aynı zamanda problemin çözümü için Açgözlü, Ardışık Sırt Çantası ve Genelleştirilmiş Atama sezgiselleri kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Castro, Doğan & Grossmann (2008), BSP'yi çok ürünlü tek aşamalı, paralel birimli, çoklu ürün partilerinin bulunduğu bir ortamda sıralamaya bağlı hazırlık süreleri ile ve bir ürünün tüm partilerini tek bir iş olarak bütünleştirerek ele almışlardır. Çalışmalarında kavramsal olarak farklı iki sürekli zaman modeli sunmuşlardır. Bu modeller çoklu zaman yapısı ve global öncelik sıralama değişkenlerini baz alarak oluşturulmuştur. Bir ürüne ait tüm partilerin tek bir iş olarak bütünleştirilmesi ile daha kısa sürede çözülebilen daha küçük boyutlu modeller üretilmiştir. 12 örnek problem üzerinde bu bütünleştirilme yapısının kullanıldığı iki yeni model ile geleneksel RTN yaklaşımı ve Doğan & Grossmann (2007)'nin sınırlama modelinin performanslarını karşılaştırmışlardır. En iyi sonucun yeni çoklu zaman şablonunun kullanıldığı formülasyon ile elde edildiğini ortaya koymuşlardır.

Sundaramoorthy & Maravelias (2008) çoklu ürünlü çok aşamalı süreçlerin eş zamanlı olarak partilenmesi ve çizelgelenmesi problemini stoklama kısıtı ile birlikte ele almışlardır. Problemin çözümüne yönelik seçme, atama ve sıralama kararlarını içeren bir formülasyon oluşturmuşlardır. Aynı zamanda kapasite ve zamanlama ile ilgili ortaya çıkabilecek tüm olası kısıtları ve parti sayılarının değişkenliğini göz önünde bulundurarak stoklama politikaları ile ilgili genel bir sınıflandırma ortaya koymuşlardır. Ferris, Sundaramoorthy & Maravelias (2009) çok aşamalı parti tipi süreçlerin eş zamanlı olarak partilenmesi ve çizelgelenmesi problemini ele almışlardır. Amaçları büyük boyutlu gerçek hayat problemlerinin kabul edilebilir süre içerisinde dağıtımlı hesaplama ile çözülebildiği bir yöntem geliştirmektir. Bu doğrultuda oluşturdukları algoritma, problemi partileme ka-

rarları temel alınarak belirli sayıda parti içeren birinci seviye alt problemlere ayrılmaktadır. Birinci seviye alt problemlerin önceden belirlenmiş olan kaynak limitleri dahilinde çözülemeyenlerinin olması durumunda, bu problemler birim-parti atamaları baz alınarak ikinci seviye alt problemlere ayrılmaktadır. İkinci seviye alt problemlerin önceden belirlenmiş olan kaynak limitleri içinde çözülemeyenlerinin olması durumunda ise bu problemler bir önceki aşamada gerçekleştirilmiş olan atamalara göre üçüncü seviye alt problemlere ayrılmaktadır. Bu süreç, tüm alt problemler kolaylıkla çözülebilir hale gelinceye kadar sürdürülmektedir.

ÇOK AŞAMALI PARTİ BÜYÜKLÜĞÜ VE ÇİZELGELEME PROBLEMLERİ

Literatürde parti büyüklüğü ve çizelgeleme problemini çok aşamalı olarak inceleyen çalışmalar da yer almaktadır. Özdamar & Barbarosoğlu (2000) dinamik çok birimli çok seviyeli kapasite kısıtlı parti büyüklüğü belirleme problemini (multi-level capacitated lot sizing problem (MLCLSP)) ele almışlardır. Ele aldıkları problem, ürün yapısı içinde farklı seviyelerde yer alan tüm birimlerin optimal parti büyüklüklerini belirlemeyi amaçlamakta, ürünlerin sıralaması ile ilgilenmektedir. Çözüm yöntemi olarak Lagrangean gevşetmesi ile tavlama benzetimi yaklaşımını birlikte kullanmışlardır.

Sahling & ark. (2009) dinamik MLCLSP'yi hazırlık durumunun periyotlar arasında aktarılması özelliği (MLCLSP-L) ile birlikte ele almışlardır. Geliştirdikleri model, bir periyot içinde istenilen sayıda ürünün üretilebilmesine olanak tanımaktadır. Periyotların başlangıç ve sonunda üretilecek olan ürünler model tarafından belirlenmektedir. Çözüm yöntemi olarak Sabitle ve Optimize Et (FO) yaklaşımını kullanmışlardır. Buschkühl & ark. (2010), kapasite kısıtlı parti büyüklüğü belirleme problemi ile ilgili literatürü MLCLSP'ye odaklanarak incelemişler, problemlerin ele alınış biçiminin ve çözüm için kullanılan yaklaşımların yıllar içinde nasıl farklılaştığını ele almışlardır. MLCLSP ve benzeri problemlerin çözümü için kullanılan yöntemlerin tesis yerleşim tipine özgü özelliklerini göz önünde bulundurması gerektiğini ifade etmişlerdir. Mohammadi & ark. (2010) çok ürünlü, çok seviyeli kapasite kısıtlı parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme problemini sıralamaya bağlı hazırlık süreleri ile ele almışlardır. Tüm makinelerin seri halinde sıralı olduğu akış tipi üretim için MLPLSP ve MLCLSP'nin avantajlarını bütünleştirmeyi amaçlayan yeni bir MIP oluşturmuşlardır. Küçük boyutlu olmayan problemlerin çözümü için MIP temelli dört sezgisel kullanılmıştır. Bu sezgisel yaklaşımların performansını test etmek için iki alt sınır oluşturulmuş ve optimal çözüm ile karşılaştırılmıştır. Wu & ark. (2011) MLCLSP'yi karşılanamayan taleplerin bir sonraki döneme aktarılmasına izin verildiği durumda ele al-

mişlardır. Problem için iki MIP modeli önermişlerdir. Modelin çözümü için alt ve üst sınır güdümlü iç içe bölmeler olarak adlandırdıkları optimizasyon yapısını kullanmışlardır.

Ferreira, Morabito & Rangel (2009) alkolsüz içki endüstrisinde ortaya çıkan iki aşamalı çok makineli parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme problemini, sıralamaya bağlı hazırlık süreleri ve maliyetleri ile ele almışlar ve modellemişlerdir. Modelin çözümü için bir gevşetme algoritması ve “Gevşet ve Sabitle (RF)” tipinde çeşitli sezgisel strateji sunmuşlardır.

Kimms (1996) MLPLSP’yi tek makine durumunda ele almıştır. Çözüm için rassal pişmanlık tabanlı bir sezgisel prosedür uygulamıştır. Kimms & Drexel (1998a), MLPLSP’yi paralel makineli, çoklu kaynaklı ve kaynakların bir kısmının yenilenebilir olduğu durumlarda ele almışlar ve her durum için bir MILP modeli formülize etmişlerdir. Çözüm yöntemi olarak, birimlerin T periyodundan başlanıp birinci periyotta sonlanan şekilde çizelgelendiği geriye yönelimli pişmanlık tabanlı rassal örnekleme yöntemini uygulamışlardır. Kimms (1999), çok makineli MLPLSP’yi ele almıştır. Problemin çözümü için genetik algoritmayı kullanmıştır. Stadtler (2011) tek makineli MLPLSP’yi ele almış, probleme hazırlık sürelerinin birden çok periyot içinde gerçekleşebilmesi ve parti büyüklüğü ile ilgili kısıtlar ekleyerek yeni bir model oluşturmuştur. Stadtler (2011) MLPLSP’yi ele alan çalışmalarda, seviyeler arasındaki malzeme akışının olurlu olmasını garanti etmek için kullanılan ve en azından bir periyotu kapsayan temin süresi dengeleyicisinin temin süresini gereksiz yere uzattığı noktasından hareketle, MLPLSP’yi temin süresi dengeleyici koymadan ele almıştır. Stadtler & Sahling (2013) MLPLSP’yi, Stadtler (2011)’in çalışmasını temel alarak ele almışlardır. Ele aldıkları problem az sayıda ürünün iki ya da üç aşamada akış tipi üretimle stoğa üretildiği ve birbiri ardına gelen üretim aşamaları arasındaki malzeme akışının ara ürün stokları ile ayrıştığı endüstrilerde karşılaşılan bir problemdir. Çözüm yaklaşımı olarak Sabitle ve Gevşet (FR) ve FO sezgisel yöntemlerini bütünleştirerek kullanmışlardır. Briskorn & Zeise (2019) içecek üreten bir firmada bir senkronize ve bütünleşik iki aşamalı parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme problemini ele almışlardır. İlk aşamada, birden fazla özdeş olmayan makine, kutulara aromalı sıvıları doldurmaktadır. İkinci aşamada ise bu kutular paletlenmektedir. Ele aldıkları problem için bir MILP modeli geliştirmişler ve çözüm için ise bir sezgisel yaklaşım önermişlerdir.

Tang ve Wang (2022), süreç endüstrilerinde kitlesel bireyselleştirme ortamında parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme problemini çok amaçlı ve çok aşamalı olarak ele almışlardır. Çalışmalarında belirsiz pazar koşullarını göz önünde bulundurmuş, üründen ürüne geçiş maliyetinin ve maksimum tamamlanma süresinin minimize edildiği bir parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme modeli

geliştirmişlerdir. Modeli simüle etmek ve çözmek için bir genetik parçacık sürü optimizasyon algoritması önermişlerdir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Çizelgeleme, belirlenmiş olan amaçlar doğrultusunda hangi işin ne zaman hangi sırada hangi kaynaklara atanması gerektiğinin belirlendiği bir süreçtir. İşletmelerin müşterilerinin talep ve ihtiyaçlarını, istenilen kalite özellikleri ve belirlenmiş olan performans ölçütlerini sağlayacak şekilde ve kaynaklarını etkin bir şekilde kullanarak karşılayabilmeleri için üretim çizelgeleme sürecini sistematik bir şekilde, süreci etkileyen tüm özellikleri göz önünde bulundurarak ele almaları gerekmektedir. Üretim çizelgeleme sürecini, ele alınan üretim sürecinin özellikleri etkilemektedir. Bu nedenle bu özelliklerin, geliştirilecek olan modellerde yer alması gerekmektedir. Süreç endüstrileri, üretim sistemleri içinde önemli bir yere sahip olan ve diğer endüstrilerden farklı, tipik özellikleri olan endüstrilerdir. Son yıllara kadar ağırlıklı olarak kesikli üretim endüstrilerinde analiz edilen üretim çizelgeleme problemi, süreç endüstrilerinin hem talep yapısının hem de ürün çeşitliliğinin geçirdiği değişikliklerle daha karmaşık hale gelmesi sonucu süreç endüstrilerinde de daha sık çalışılmaya başlanmıştır.

Süreç endüstrilerinin özellikle akış tipi üretim yapılan alt kırımlarında kapasite kullanımının çok önemli olması ve üründen ürüne geçiş sürelerinin oldukça yüksek olması sebebiyle çizelgeleme probleminin parti büyüklüğü belirleme problemi ile bütünleşik olarak ele alınması gerekmektedir. Bu kitap bölümü, süreç endüstrilerinde parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme problemini inceleyecek araştırmacılara, endüstrinin çizelgeleme sürecini etkileyen tipik özelliklerini, literatürde bu alanda uygulanmak üzere geliştirilmiş olan modellerin özelliklerini, modellerde kullanılan parametreleri, bu alanda yapılan çalışmalarda kullanılan çözüm yöntemlerini sunarak, araştırmalarında temel oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu kitap bölümünde, süreç endüstrilerinin çizelgeleme sürecini etkileyen tipik özellikleri ortaya konmuştur. Aynı zamanda, literatürde parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme problemi için geliştirilmiş olan temel modeller, modellerde kullanılan parametreler ve modellerin özellikleri tablolar halinde özetlenmiştir. Literatür incelemesi ile bu modelleri süreç endüstrileri bağlamında uygulayan çalışmalar ve bu çalışmalarda kullanılan yöntemler de incelenmiştir.

Süreç endüstrilerinin çizelgeleme sürecini etkileyen en belirgin özellikleri arasında hammaddelerin kalite ve miktar açılarından değişkenlik göstermesi, ürünlerin birden çok ürün reçetesi ile üretilebiliyor olması, endüstrinin genelinde hammadde, ara ürün ve son ürünlerin bozulmaya elverişli olması, üründen ürüne geçişlerde yapılan hazırlıkların oldukça uzun zaman gerektirmesi, stoklama alan-

larının endüstrinin birçoğunda stoklama alanı ve süresi ile ilgili kısıtların bulunması, enerji tüketiminin yüksek olması ve zamana bağlı olarak enerji maliyetinin değişkenlik gösteriyor olması yer almaktadır.

Literatürde parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme problemleri için geliştirilen modeller arasında CLSP, DLSP, CSLP, PLSP, GLSP ve BSP en öne çıkarılmaktadır. Aynı zamanda bu modellerin çeşitli varyasyonları ve birden çok modelin birlikte kullanıldığı da gözlemlenmektedir. Süreç endüstrilerinde parti büyüklüğü belirleme ve çizelgeleme problemlerinde en yaygın olarak GLSP ve CLSP'nin uygulandığı dikkat çekmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdullah, F. (2003). Lean manufacturing tools and techniques in the process industry with a focus on steel. PhD thesis, University of Pittsburgh.
- Abdulmalek, F. A., Rajgopal, J., Needy, K. L. (2006). A Classification Scheme for the Process Industry to Guide the Implementation of Lean. *Engineering Management Journal*, 18 (2), 15-25.
- Akkerman, R., Van Donk, D.P. (2009). Analyzing scheduling in the food-processing industry: structure and tasks. *Cognition, Technology & Work*, 11 (3), 215-226.
- Almada-Lobo, B., Klabjan, D., Antnia Carravilla, M., et al. (2007). Single machine multi-product capacitated lot sizing with sequence-dependent setups. *International Journal of Production Research*, 45(20): 4873-4894.
- Almada-Lobo, B., Oliveira, J. F., Carravilla, M.A. (2008). A note on “the capacitated lot-sizing and scheduling problem with sequence-dependent setup costs and setup times. *Computers & Operations Research*, 35, 1374 – 1376.
- Araujo, S. A., Arenales, M. N., Clark, A. R. (2007). Joint rolling-horizon scheduling of materials processing and lot-sizing with sequence-dependent setups. *Journal of Heuristics*, 13(4), 337-358.
- Ashayeri, J., Teelen, A., Selen, W. (1995). Computer integrated manufacturing in the chemical industry: Theory and Practice. *CentER Discussion Paper*, 1995 (7): 1-10.
- Brahimi, N., Dauzere-Peres, S., Najid, N. M., et al. (2006). Single Item Lot Sizing Problems. *European Journal of Operational Research*, 168: 1–16.
- Briskorn, D., Zeise, P. (2019). A cyclic production scheme for the synchronized and integrated two-level lot-sizing and scheduling problem with no-wait restrictions and stochastic demand. *OR Spectrum*, 41(4), 895-942.
- Brüggemann, W. Jahnke, H. (2000). The discrete lot-sizing and scheduling problem: Complexity and modification for batch availability. *European Journal of Operational Research*, 124, 511-528.
- Buschkühl, L., Sahling, F., Helber, S., et al. (2010). Dynamic capacitated lot-sizing problems: a classification and review of solution approaches. *OR Spectrum*, 32, 231–261.
- Camargo, V. C. B. D., Toledo, F. M. B., Almada-Lobo, B. (2012). Three time-based scale formulations for the two-stage lot sizing and scheduling in process industries. *Journal of the Operational Research Society*, 63(11), 1613-1630.
- Castro, P. M., Dogan, M.E., Grossmann, I.E. (2008). Simultaneous Batching and Scheduling of Single Stage Batch Plants with Parallel Units. *AIChE Journal*, 54(1), 183-193.
- Cattrysse, D., Salomon, M., Kuik, R., et al. (1993). A Dual Ascent and Column Generation Heuristic for the Discrete Lotsizing and Scheduling Problem with Setup Times. *Management Science*, 39(4), 477-486.
- Clark, A. R., Clark, S. J. (2000). Rolling-horizon lot-sizing when set-up times are sequence-dependent. *International Journal of Production Research*, 38(10), 2287-2307.
- Craig, I., Aldrich, C., Braatz, R., et al. (2011). Control in the Process Industries, in “The Impact of Control Technology, In T. Samad & A.M. Annaswamy (Eds.), *IEEE Control Systems Society*,

- (pp.21-34).
- Crawford, S., MacCarthy, B.L., Wilson, J.R., et al. (1999). Investigating the Work of Industrial Schedulers through Field Study. *Cognition, Technology & Work*, 1: 63-77.
- Dobson, G., Nambimadom, R.S. (2001). The Batch Loading and Scheduling Problem. *Operations Research*, 49(1), 52-65.
- Doğan, M.E., Grossmann, I.E. (2007). Optimal Production Planning Models for Parallel Batch Reactors with Sequence-dependent Changeovers. *AIChE Journal*, 53(9), 2284-2300.
- Drexl, A., Haase, K. (1995). Proportional Lotsizing and Scheduling. *International Journal of Production Economics*, 40, 73-87.
- Drexl, A., Kimms, A. (1997). Lot sizing and scheduling - Survey and extensions. *European Journal of Operational Research*, 99, 221-235.
- Fandel, G., Stammen-Hegene, C. (2006). Simultaneous lot sizing and scheduling for multi-product multi-level production. *International Journal of Production Economics*, 104, 308-316.
- Ferreira, D., Morabito, R., Rangel, S. (2009). Solution approaches for the soft drink integrated production lot sizing and scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 196, 697-706.
- Ferris, M., Sundaramoorthy, A., Maravelias, C.T. (2009). Simultaneous Batching and Scheduling Using Dynamic Decomposition on a Grid. *INFORMS Journal on Computing*, 21(3), 398 - 410.
- Figueira, G., Amorim, P., Guimarães, L., et al. (2015). A decision support system for the operational production planning and scheduling of an integrated pulp and paper mill. *Computers & Chemical Engineering*, 77, 85-104.
- Flapper, S.D.P., Fransoo, J.C., Broekmeulen, R.A.C.M., et al. (2002). Planning and control of rework in the process industries: A review. *Production Planning & Control*, 13 (1), 26-34.
- Fleischmann, B., Meyr, H. (1997). The general lotsizing and scheduling problem. *OR Spektrum*, 19, 11-21.
- Fransoo, J. C., Rutten, W.G.M.M. (1994). A Typology of Production Control Situations in Process Industries. *International Journal of Operations & Production Management*, 14 (12), 47 - 57.
- Gicquel, C., Minoux, M., Dallery, Y. (2009). On the discrete lot-sizing and scheduling problem with sequence-dependent changeover times. *Operations Research Letters*, 37, 32-36.
- Gicquel, C., Minoux, M., Dallery, Y. (2011). Exact solution approaches for the discrete lot-sizing and scheduling problem with parallel resources. *International Journal of Production Research*, 49(9), 2587-2603.
- Gopalakrishnan, M. (2000). A modified framework for modelling set-up carryover in the capacitated lotsizing problem. *International Journal of Production Research*, 38(14), 3421-3424.
- Gopalakrishnan, M., Miller, D.M., Schmidt, C.P. (1995). A framework for modelling setup carryover in the capacitated lot sizing problem. *International Journal of Production Research*, 33(7), 1973-1988.
- Gopalakrishnan, M., Ding, K., Bourjolly, J.M., et al. (2001). A tabu-search heuristic for the capacitated lot-sizing problem with set-up carryover. *Management Science*, 47, 851-863.
- Graves, S. C. (1981). A Review of Production Scheduling. *Operations Research*, 29 (4), 646-675.
- Gunasekaran, A. (1998). Concurrent engineering: a competitive strategy for process industries. *Journal of the Operational Research Society*, 49, 758-765.
- Gupta, D., Magnusson, T. (2005). The capacitated lot-sizing and scheduling problem with sequence-dependent setup costs and setup times. *Computers & Operations Research*, 32, 727-747.
- Günther, H-O., Van Beek, P. (2003). Advanced Planning and Scheduling Solutions in Process Industry. In Günther, H-O. & Van Beek, P. (Eds.), *Advanced Planning and Scheduling Solutions in Process Industry* (pp. 1-7). Springer, Berlin.
- Haase, K. (1994). Lotsizing and Scheduling for Production Planning. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 408, 1-8.
- Haase, K. (1996). Capacitated lot-sizing with sequence dependent setup costs. *OR Spektrum*, 18, 51-59.
- Heizer, J., Render, B. (2006). *Operations Management*. (8th Edition). Prentice Hall

- Jans, R., Degraeve, Z. (2004). An industrial extension of the discrete lot-sizing and scheduling problem. *IIE Transactions*, 36, 47–58.
- Jovan, V. (2002). The Specifics of Production Scheduling in Process Industries. *IEEE International Conference on Industrial Technology*, 11 -14 December 2002, 2: 1049- 1054.
- Kaczmarczyk, V. (2011). Proportional lot-sizing and scheduling problem with identical parallel machines. *International Journal of Production Research*. 49(9), 2605–2623.
- Karimi, B., Ghomi, S.M.T.F., Wilson, J.M. (2003). The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms. *The International Journal of Management Science*, 31, 365-378.
- Kılıç, O. A. (2011). Planning and scheduling in process industries considering industry-specific characteristics. PhD Thesis, University of Groningen.
- Kimms, A. (1996). Multi-level, single-machine lot sizing and scheduling (with initial inventory). *European Journal of Operations Research*, 89, 86-99.
- Kimms, A. (1999). A genetic algorithm for multi-level, multi-machine lot sizing and scheduling. *Computers & Operations Research*, 26, 829-848.
- Kimms, A., Drexl, A. (1998a). Proportional Lot Sizing and Scheduling: Some Extensions. *Networks*, 32(2), 85–101.
- Kimms, A., Drexl, A. (1998b). Some Insights into Proportional Lot Sizing and Scheduling. *The Journal of the Operational Research Society*, 49(11), 1196-1205.
- Koçlar, A. (2005). The General Lot Sizing and Scheduling Problem with Sequence Dependent Changeovers. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Koçlar, A., Süral, H. (2005). A note on The general lot sizing and scheduling problem. *OR Spectrum*, 27, 145-146.
- Kvarnström, B., Oghazi, P. (2008). Methods for traceability in continuous processes—Experience from an iron ore refinement process. *Minerals Engineering*, 21, 720–730.
- Kvarnström, B., Vanhatalo, E. (2009). Using RFID to improve traceability in process industry: Experiments in a distribution chain for iron ore pellets. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21(1), 139 – 154.
- Li, S., Kubo, M. (2008). The capacitated production planning problem with sequence-dependent changeovers. In *2008 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics* (Vol. 2, pp. 2363-2368). IEEE.
- Marinelli, F., Nenni, M. E., Sforza, A. (2007). Capacitated lot sizing and scheduling with parallel machines and shared buffers: A case study in a packaging Company. *Annals of Operations Research*, 150, 177- 192.
- Meyr, H. (2000). Simultaneous lotsizing and scheduling by combining local search with dual reoptimization. *European Journal of Operational Research*, 120, 311-326.
- Meyr, H. (2002). Simultaneous lotsizing and scheduling on parallel machines. *European Journal of Operational Research*, 139, 277–292.
- Meyr, H. (2004). Simultane Losgrößen-und Reihenfolgeplanung bei mehrstufiger kontinuierlicher Fertigung (No. 36063). Darmstadt Technical University, Department of Business Administration, Economics and Law, Institute for Business Studies (BWL).
- Mohammadi, M., Ghomi, S. M. T. F., Karimi, B., et al. (2010). Rolling-horizon and fix-and-relax heuristics for the multi-product multi-level capacitated lotsizing problem with sequence-dependent setups. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 21, 501–510.
- Özdamar, L., Barbarosoglu, G. (2000). An integrated Lagrangean relaxation-simulated annealing approach to the multi-level multi-item capacitated lot sizing problem. *International Journal of Production Economics*, 68, 319-331.
- Park, Y., Kim, S-K. (2000). Some Properties Of Discrete Lot Sizing and Scheduling Problem With Setup Times Using Integral Demand. *Management of Innovation and Technology, 2000. ICMIT 2000*. Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on, 2, 859-862.
- Quadt, D., Kuhn, H. (2005). Conceptual framework for lot-sizing and scheduling of flexible flow lines. *International Journal of Production Research*, 43(11), 2291-2308.

- Sahling, F., Buschkühl, L., Tempelmeier, H., et al. (2009). Solving a multi-level capacitated lot sizing problem with multi-period setup carry-over via a fix-and-optimize heuristic, *Computers & Operations Research*, 36, 2546-2553.
- Salomon, M., Solomon, M.M., Van Wassenhove, L. N., et al. (1997). Solving The Discrete Lot Sizing and Scheduling Problem with Sequence Dependent Set-Up Cost and Set-Up Times Using The Travelling Salesman Problem with Time Windows. *European Journal of Operational Research*, 100(3), 494-513.
- Seannner, F., Meyr, H. (2013). Multi-stage simultaneous lot-sizing and scheduling for flow line production. *OR Spectrum*, 35, 33-73.
- Stadtler, H. (2011). Multi-level single machine lot-sizing and scheduling with zero lead times. *European Journal of Operational Research*, 209, 241-252.
- Stadtler, H., Sahling, F. (2013). A lot-sizing and scheduling model for multi-stage flow lines with zero lead times. *European Journal of Operational Research*, 225, 404-419.
- Staggemeier, A. T., Clark, A. R. (2001). A Survey of Lot-sizing and scheduling models. *23rd Annual Symposium of the Brazilian Operational Research Society*, Brazil.
- Suerie, C. (2006). Modeling of period overlapping setup times. *European Journal of Operational Research*, 174, 874-886.
- Suerie, C., Stadtler, H. (2003). The capacitated lot-sizing problem with linked lot sizes. *Management Science*, 49, 1039-1054.
- Sundaramoorthy, A., Maravelias, C.T. (2008). Modeling of Storage in Batching and Scheduling of Multistage Processes. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47(17), 6648-6660.
- Tang, Q., Wang, Y. (2022). Multiobjective lot sizing and scheduling of multiproduct switching production in the process industry considering uncertain market information under mass customization. *IEEE Access*, 10, 74747-74764.
- Tempelmeier, H., Buschkühl, L. (2008). Dynamic multi-machine lotsizing and sequencing with simultaneous scheduling of a common setup resource. *International Journal of Production Economics*, 113: 401-412.
- Transchel, S., Minner, S., Kallrath, J., et al. (2011). A hybrid general lot-sizing and scheduling formulation for a production process with a two-stage product structure. *International Journal of Production Research*, 49(9), 2463-2480.
- Vanderbeck, F. (1998). Lot-Sizing with Start-Up Times. *Management Science*, 44 (10), 1409-1425
- Wei, W., Amorim, P., Guimarães, L., et al. (2019). Tackling perishability in multi-level process industries. *International Journal of Production Research*, 57(17), 5604-5623.
- White, K.P. (1990). Advances in the theory and practice of production scheduling. In C.T. Leondes (Eds.), *Control and Dynamic Systems* (Volume 37, pp. 115-159). Academic Press, Inc.
- Wolsey, L.A. (2002). Solving multi-item lot-sizing problems with an MIP solver using classification and reformulation. *Management Science*, 48(12), 1587-1602.
- Wu, T., Shi, L., Geunes, J., et al. (2011). An optimization framework for solving capacitated multi-level lot-sizing problems with backlogging. *European Journal of Operational Research*, 214, 428-441.