

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

Havva KARABULUT¹, Nihal ERGİNEL¹

KARMA MODELLİ MONTAJ HATLARINDA ÜRETİM ÇİZELGELEME VE SIRALAMA PROBLEMLERİNDE ÜRETİM DÜZGÜNLEŞTİRME İÇİN BİR YAKLAŞIM ÖNERİSİ

ÖZ

Karma model montaj hatları, aynı anda iki ya da daha fazla ürün tipinin aynı hat üzerinde üretilebildiği, çeşitlendirilmiş küçük parti üretimine yatkın ve modellerin çeşitliliğine rağmen fazla stok bulundurmadan, ani talep değişikliklerine hızlı cevap verebilen montaj hatlarıdır. Bahsedilen bu özelliklerinden dolayı, iş istasyonlarında bekleme/ yığılmalar söz konusu olmaktadır. Bu probleme çözüm olarak, üretim düzgunleştirme modelleri önerilmektedir. Üretim düzgunleştirme, parti büyüklüklerini azaltmayı ve tüm sistem boyunca ürünlerin/ parçaların/ malzemelerin düzeltilmiş tek parça akışını oluşturmasını amaçlar.

Bu makalede, bir otomotiv işletmesinde karma model montaj hattında, teslim zamanları belli olan taleplere, Tam Zamanında Üretim (TZÜ-JIT) felsefesine göre “anında” ve Yalın Üretim felsefesine göre “stoksuz” olarak cevap verecek modellerin çözümleri sunulmuştur. Problem 50 ürün çeşidi için, çizelgeleme ve sıralama olarak iki aşamada ele alınmıştır. Çizelgeleme aşamasında, üretim düzgunleştirme modellerini de içeren üç çözüm yaklaşım önerilmiş ve işletmenin ulaşmak istediği dengeli üretim için önceliklerinin ve kısıtlarının göz önünde bulundurulduğu çözüm seçenekleri elde edilmiştir. Bu çözümler maliyet ve geç karşılanan araç sayısı ölçütlerine göre karşılaştırılmış ve Geriye Doğru Çizelgeleme Modeli seçilmiştir. Sıralama aşamasında ise, otomobil modellerin montaj hattındaki iş sıraları Değiştirilmiş Goal Chasing metoduna göre sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karma model montaj hattı, Üretim düzgunleştirme, Çizelgeleme, Sıralama, Tam zamanında üretim

AN APPROACH OF PRODUCTION SMOOTHING FOR PRODUCTION SCHEDULING AND SEQUENCING IN MIXED-MODEL ASSEMBLY LINES

ABSTRACT

Mixed model assembly line can adapt to the varied small size batch production, by keeping of minimum inventory despite of product diversity and ability of quick response to the abrupt change of demand. Due to the mentioned attributes of mixed model assembly line, waiting/ accumulations are in question. In this study, the production smoothing model is presented for solving this problem. The smoothing production aims to reduce the size of batches and streamline the flow of products/ parts/ raw materials throughout the whole system.

¹ Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü.
E-posta: nerginel@anadolu.edu.tr

In this study, the solution of models that response to demand for certain time at “just in time” according to the JIT approach and “no stock” according to the Lean philosophy in mixed model assemble line in automotive firm. The problem is handled for 50 products with two approaches as scheduling and sequencing. In scheduling stage, three solving methods are presented and alternative solutions are obtained for balanced production desired by the firm and considering constraints. These solutions are compared with several criteria. In sequencing stage, the work sequence of automobile models in assemble line is determined with modified Goal Chasing method.

Keywords: : Mixed model assembly line, Production smoothing, Scheduling, Sequencing, Just in time

1.GİRİŞ

Küreselleşen ekonomi dünyası sebebiyle keskinleşen rekabete dayanabilmek için firmalar son 30 yıl içerisinde iki felsefeyi üretim ortamlarında hayata geçirmeye çalışmışlardır. Bunlar “Tam Zamanında Üretim” (Just in Time) ve “Yalın Üretim” (Lean Manufacturing) felsefeleridir. Her iki felsefeyi de başarıyla uygulayan Japonya'nın rekabet alanında üstünlüğü yakalaması da felsefelerin önemine dikkat çekmektedir.

Japon yönetim ve üretim anlayışının evrenselliğini tartışan çalışmalardan dikkati çeken James vd. (1992) tarafından gerçekleştirilen araştırma sonucunda, yalın üretim olarak tanımlanan yeni modelin tüm dünyada benimsenmesi gerektiği ileri sürülmüştür. James vd. (1992) yeni yaklaşımı, giderek azalan kaynakla daha fazla üretimi gerçekleştirdiği için ‘yalın üretim’ olarak adlandırdıklarını söylemektedirler. Yalın üretim temelde; doğru zamanda, doğru yerde, doğru malzemeleri doğru miktarda ve israfı en aza indirerek kullanmayı, aynı zamanda esnek üretim yapmayı ve değişime açık olmayı hedeflemektedir. Toyota Motor Fabrikası başkanı Kiichiro Toyoda ve diğer lider isimlerden Shigeo Shingo ve Taiichi Ohno “Toyota Üretim Sistemi” veya “Yalın Üretim” olarak adlandırılan felsefeyi ortaya çıkarmışlardır.

Yalın üretim yedi israfın azaltılmasına odaklanan bir yönetim felsefesidir. İsrâfların önlenmesiyle kalite artmakta, üretim zamanı ve maliyetler ise azalmaktadır. Bu yedi israf şu şekilde tarif edilmiştir: fazla üretim, gereksiz stok, taşımalar, kusurlu üretim, gereksiz işlemler, gereksiz hareketler ve bekleme zamanları.

Yalın üretimin temel bir ögesi olan ‘Tam Zamanında Üretim’ (TZÜ) ise, israfı ortadan kaldırmak ve böylece nihai amaca ulaşmak için sürekli olarak sistemdeki problemlerin ortaya çıkarılıp çözümlenmesini özendirir, tüm sisteme yayılmış bir üretim felsefesidir (Meral and Erkip, 1991). İşe değer katmayan her türlü atığın ve değişkenliğin yok edilmesi ve malzemelerin gerektiği yerde ve gerektiği zamanda çekilmesi TZÜ'nün esasını oluşturur. TZÜ, her şeyi gerektiği anda ve gerektiği kadar, kısaca “tam zamanında” üretmek olan stoksuz üretim uygulaması, hem ana sanayi hem de yan sanayi üretimlerini kapsar.

TZÜ ortamında üretim birimlerinin, talepte olabilecek büyük değişikliklere cevap verebilmek için tüm üretim hatlarının bağlandığı son montaj hattındaki üretim değişkenliğini en küçükleme gerekmektedir. Bu doğrultuda, bir üretim biriminde, sadece bir tip parça ya da ürünü, büyük partiler halinde üretmek yerine, farklı parçalar küçük partiler şeklinde, talep doğrultusunda üretilmelidir (Monden, 1983).

Karma model montaj hatları çeşitli ürün tiplerini talep dalgalanmalarına kısa sürede cevap verebilen ve stoksuz taşımayı esas alan özellikleri nedeni ile hem TZÜ hem de Yalın Üretim felsefelerinin gerekliliklerini karşılayabilen yapıdadırlar. Talebin değişken olması ve özellikle “teslimat zamanlarına uyum” esas ölçüt olarak ele alındığında, montaj hatlarında üretim çizelgelerinin oluşturulması önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. İkinci en önemli problem ise, ürün tiplerinin gün içinde hangi sıra ile (sıralama problemi) üretileceğidir. Karma model montaj hatları sıralama problemlerinde, iki temel amaç düşünülmüştür: montaj hattında, her iş istasyonunda iş yükünü düzgülleştirme ve montaj hattında kullanılan tüm parçaların kullanım oranını sabit tutma (Meral, Korkmazel, 2001). Üretim düzgülleştirmenin yanı sıra maliyetlerin en küçüklemesi de gözden uzak tutulmamaktadır (Nasab ve Aryanezhad, 2011).

Bu çalışmanın amacı, çizelgeleme ve sıralama problemlerine alternatif yaklaşımlar sunmak ve maliyet ve geç karşılanan araç sayısı ölçütlerine göre çizelgeleme metodunu seçmek, ayrıca sıralama için de yeni bir yöntem önermektir.

Bu çalışmada, teslimat zamanlarına uyum ve stoksuz çalışma amaçlarını karşılamak için çizelgeleme; iş yüklerinin dengelenmesi için ise sıralama problemlerinin çözümü, üretim düzgünleştirme anlayışı ile geliştirilmiş ve bu yaklaşımlar bazı ölçütler esas alınarak karşılaştırılmıştır. Uygulama otomobil üreten bir firmada, bir montaj hattına 50 adet ürün tipi için gelen talepler doğrultusunda üretim çizelgelemesi ve üretim sıralama olarak iki aşamada yapılmıştır. Bu şekilde, talep dalgalanmalarına uyabilen ve teslimatın zamanında karşılandığı bir üretim programlama optimizasyonu için matematiksel modeller ile ve geliştirilen algoritma ile alternatif çözümler oluşturulmuş ve karşılaştırılmıştır.

Makalenin ikinci bölümünde karma model montaj hatları üzerine yapılan çalışmalar, üçüncü bölümde karma model montaj hatlarında üretim düzgünleştirme yöntemleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise, bir gerçek hayat problemi ele alınarak yöntemin uygulaması yapılmıştır. Daha sonra da sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. KARMA MODEL MONTAJ HATLARI

Karma modellenli montaj hattı sıralama problemine ilk olarak Thomopoulos (1970), iş istasyonlarında ürün modellerinin farklı işlemler gerektirdiğini gözleyerek, boş bekleme/yığılmalardan kaynaklanan verimsizliği gidermek için sezgisel olarak basit bir sıralama yöntemi önerilmiştir. İzleyen çalışmalarda, Macaskill (1972), Dar-el ve Cother (1975), Chakravarty ve Shtub (1985), Dar-el ve Rabinovitch (1988) ve Dar-El ve Cucuy (1977) karma model montaj hatlarında çeşitli sezgisel veya optimizasyon modelleri geliştirmişlerdir.

Çekme sistemine dayanan Tam Zamanında Üretim yaklaşımı için Miltenburg (1989) karma model montaj hatlarının sıralanmasında bir doğrusal olmayan programlama modeli geliştirmiştir. Miltenburg ve diğerleri (1990) aynı problemi bir dinamik programlama algoritması ile çözmüştür. Inman ve Bulfin de (1991) problemi yeni bir matematiksel modele dönüştürerek çözmüşlerdir.

Çekme sistemlerinde düşük stok sağlanırken, talepleri hızlı bir şekilde karşılamak için malzeme gereksiniminde büyük dalgalanmalar olmaktadır. Bu yüzden malzeme tedarik edilen süreçlerden gelen parça miktarlarındaki değişim en küçüklenmelidir (Monden, 1983). Bunu gerçekleştirmek için Toyota Şirketi'nde karma modellenli montaj hattı sıralamasında üretim düzgünleştirme amacı, tüm parçaların tüketim hızını mümkün olduğu kadar sabite yakın tutmaktır. Bu amaçla Monden (1983) Toyota, Goal Chasing I ve II (GC-I ve GC-II) yöntemlerini tanıtmıştır. GC-I her aşamada, bir-aşama değişimini en küçükleyen modeli seçerken, GC-II ürün yapısıyla ilgili özel varsayımlar altında GC-I'i basitleştirmektedir.

Korkmaz ve Meral (2001), Monden (1983) tarafından tanıtılan yöntemler için iki amacı içeren bir ağırlıklı toplam yaklaşımı geliştirmişlerdir. Mc Mullen (1998), çok amaçlı üretim düzgünleştirme ve üretim süresini en küçükleyecek bir model geliştirmiş ve tavlama benzetimi kullanan sezgisel bir model önermişlerdir. McMullen ve Fraizer (2000), McMullen (1998) tarafından önerilen modelini tavlama benzetimi kullanarak çözmüşlerdir. McMullen (2001a) çok amaçlı TZÜ ortamında çizelgeleme problemini, karınca kolonisi eniyilemesi yaklaşımı ile ele almıştır. Ayrıca McMullen (2001b) aynı modelin çözümü için Kohonen'in kendini örgütleyen harita yaklaşımını uygulamıştır. Mansouri (2005), TZÜ-ortamında çok amaçlı çizelgeleme problemi için genetik algoritma kullanmıştır. Yavuz ve Tüfekçi (2004), üretim düzgünleştirme problemini parti büyüklüğü belirleme ve sıralama olmak üzere iki aşamada tarif etmişlerdir. Sıralama probleminin bir atama problemi olarak ele almışlar, parti büyüklüğü problemi için ise dinamik programlamayı içeren bir sezgisel model önermişlerdir. Yavuz ve Tüfekçi (2006), parti üretim düzgünleştirme problemi üzerinde yoğunlaşmışlar ve TZÜ ortamında sınırlı dinamik programlama yaklaşımı önermişlerdir. Tavakkoli- Moghaddam vd. (2006a) karma model montaj hatlarında çok ölçütlü sıralama problemi ve (2006b) tek makine çizelgelemede dal-sınır tekniğinin kullanımına yönelik yaklaşımları sergilemişlerdir. Nearchou (2011) en büyük üretim hızı ve iş yükü dağılımının en iyi şekilde düzgünleştirilmesi amaçlarını sağlayan yeni bir yöntem önermiştir. Tavakkoli- Moghaddam vd. (2012), TZÜ ortamında tek ölçütlü karma model montaj hattı dengeleme probleminin çözümünde genetik ve memetik algoritmayı kullanan bir matematiksel model

önermişlerdir. Emde ve Boysen (2012) TZÜ-tedarikli karma model montaj hattı için çekme dizilerinin en iyi rotası ve çizelgelemesinin tam çözümlü bir yöntem önermiştir.

Bu çalışmada, karma model montaj hattında, üretim düzgünleştirme problemi, biri günlük üretim çizelgeleme, diğeri de gün içinde üretim sıralama olmak üzere iki alt probleme ayrılmıştır. Çizelgeleme problemi, farklı iki doğrusal programlama yöntemleriyle çözülmüştür. Ayrıca, bir düzgünleştirme bakış açısıyla, uygulama yapılan işletmenin en çok önem verdiği teslim zamanlarının geciktirilmemesi amacına hizmet eden bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Bu üç yaklaşım çeşitli parametreler ile karşılaştırılmıştır. Sıralama problemi için ise “Toyota Goal Chasing Metodu”na dayanan, modellerin montaj hattı üzerindeki iş istasyonlarında harcadıkları işlem sürelerinin düzgünleştirilmesi amacına yönelik geliştirilen bir anlamda “Goal Chasing Metodu”nun işlem sürelerini düzgünleştirmek amacıyla modifiye edilen bir yöntemiyle çözülmüştür. Bu şekilde, üretim çizelgeleme için en iyi çözüm yöntemi tespit edilmiş, ayrıca sıralama problemine de yeni bir bakış açısı kazandırılmıştır.

3. KARMA MODEL MONTAJ HATLARINDA ÜRETİM DÜZGÜNLEŞTİRME

Karma modellenli montaj hatlarına karışık olarak ürün tiplerinin/modellerinin yüklenmesinin birincil ve en önemli işlevi, üretimin talep değişikliklerine yarı mamul stok problemi olmaksızın kolayca adapte olunabilmesinin sağlanmasıdır. İkinci olarak, aynı hatta birden fazla ürün tipinin monte edilmesi, gereken toplam hat sayısını ve dolayısıyla toplam fabrika alanını da azalmasını sağlayacaktır. Karışık yüklemenin en önemli üstünlüğü de, ürünlerin bayilere/ müşterilere istenilen sipariş bileşimine erişildikten hemen sonra sevk edilebilmelerini sağlayarak, üreticileri gereksiz stok alanı bulundurma zorunluluğundan kurtarmaktır.

Ancak, karışık yükleme uygulamasında dikkat edilmesi gereken bir püf noktası vardır. Kanbanlar kanalıyla yan sanayinin ya da fabrika içi atölyelerin TZÜ sistemli üretime “çekilmeleri” söz konusu olduğunda, son montaj hattında karışık yükleme mutlaka belli bir düzen içinde gerçekleştirilmek zorundadır. Aksi

takdirde, önceki üretim istasyonları ve yan sanayiler yedek yarı mamul stoku bulundurmamak

zorunda kalacaklar, sonuçta stoksuz çalışma ilkesine ters düşülecektir. Örneğin, son montaj hattı bir önceki istasyonlardan A, B, ve C tipi ürünlere ait parçaları, kanbanlar kanalıyla hep 2’şer palet halinde çekiyorsa, üretim kanbanları da önceki üretim istasyonlarının kanban kutularında bu adette ve sıralamada birikecek, dolayısıyla üretim de bu adet ve sıralamada gerçekleşecektir. Eğer bir sonraki devirde “çekme”, birdenbire 5’er palet çıkarırsa, önceki istasyonlarda fazladan 3’er palet (stoksuz çalışıldığından) bulunmayacağına göre, üretim hemen aksayacaktır. Üretimin aksamaması için getirilebilecek tek çözüm, önceki istasyonlar ve yan sanayilerin yedek yarı mamul stoku tutmaları olacaktır.

Bu tür problemlerle karşılaşmamak için, son montaj hattında karışık yüklemenin her zaman belli bir düzen içinde gerçekleştirilmesi ve ürünlerin hattan mümkün olan en küçük partilerde çıkarılması esasına göre çalışılmalıdır. Karışık yükleme düzeninin ne olacağını tayin eden ise, müşteri talep miktarı ve bileşimi olmaktadır.

Bir firmanın aylık sipariş bileşimine göre, bir ay içinde aynı montaj hattından çıkacak A, B, ve C tipi ürünlerinden 6.000 palet A, 3.000 palet B ve 3.000 palet de C ürünü üretmek zorunda olduğu varsayalım. Ayda ortalama 20 çalışma günü olduğuna göre, söz konusu bileşim, günde 300 A, 150 B, ve 150 C paleti üretilmesi anlamına gelmektedir. Birçok firmada bu bileşim, günün ilk yarısında sadece A, geriye kalan ilk 1/4’lük kısmında B, ve son 1/4’lük kısmında da C paletleri üretmek şeklinde değerlendirilmektedir. Ya da ilk 10 gün A, 5 gün B ve son 5 gün de C ürünü üretecektir. Bu durum, bitmiş ürün stoğuna yol açacaktır. Yalın üretimde ise, ürünler son montaj hattından A, B, A, C, A, B, A, C, palet sıralamasına göre çıkarılmakta ve bu sıralama ilke olarak gün boyu korunmaktadır. Yalın üretime geçebilmek için ise tabii ki işlem hazırlık sürelerinin neredeyse “sıfır” zamana indirilmesi gerekmektedir. Bu şekilde, bir yandan her üç ürünün de talep bileşimindeki paylarını yansıtabilecek frekansta üretilmeleri sağlanmakta; öte yandan da her bir üründen mümkün olduğunca birer palet (ya da otomobil gibi kompleks ürünler söz konusu olduğunda, birer adet) üretilmektedir. Böylesi bir sistem, hem günlük üretim adetlerine erişilmesi zorunluluğuna ters düşmemekte, hem de bir

önceki iş istasyonları, montaj hattının belli bir düzene dayanmayan “çekiş” yapması durumunda yedekte bulundurmamak zorunda kalacakları yarı

mamul stoku tutmalarını önlemektedir. Üretimin bir süreklilik ve düzen içinde yürütülmesine ve ürünlerin adet açısından birbirlerine oranlarının olabilecek en küçük birimlere indirgenerek üretilmelerine “üretim düzgünleştirme” (production smoothing) denilmektedir.

Üretim düzgünleştirme parti büyüklüklerini azaltmayı ve tüm sistem boyunca ürünlerin/parçaların/malzemelerin düzeltilmiş tek parça akışını oluşturmasını amaçlar. Bu ideal akış, son ürünlerin son çizelge üzerinde mümkün olduğu kadar düzgün dağılmasını gerektirir. Verilen bir son ürün için, eğer ürünlerin herhangi bir zamanda birikimli üretim miktarı planlama ufkunun başlangıcından beri geçen zamanla orantılıysa amaç gerçekleştirilmiştir.

4. BİR KARMA MODEL OTOMOBİL MONTAJ HATTINDA SIRALAMA VE ÇİZELGELEMEDE ÜRETİM DÜZGÜNLEŞTİRME ÇALIŞMASI

Otomobil modellerine olan taleplerdeki değişkenlik, malzeme ve işgücü planlamasında ve özellikle zamanında teslimat hedefinin gerçekleştirilmesinin önemli olduğu bir ortamda, üretim planlamasının hazırlanmasında zorluklar ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden, üretimin değişen talep koşullarına uyumlandırılması gerekmektedir. İşletmenin amacı, TZÜ ortamında talep değişimlerine uyabilen bir üretim programı yaparak, dengeli ve sıralı bir üretim gerçekleştirmektir.

Uygulama yapılan işletmede otomobil çeşitleri: Model tipine göre 2 (A, B); model versiyonuna göre 8 (A modelin 3 versiyonu, B modelin 5 versiyonu); motor hacimlerine göre 4 (M1, M2, M3, M4); gövde tipine göre 2 (G1, G2) ve pazar bölgelerine göre ise 6'ya ayrılmaktadır. Ancak bu modellerin tüm kombinasyonları üretilmemektedir. Her model farklı motor hacimlerinde üretilmemekte, tüm pazar bölgelerine satılmamaktadır. Bu çalışmada en çok üretilen 50 adet otomobil kombinasyonu göz önüne alınarak uygulama yapılmıştır. Otomobil model ve versiyonları üzerine montaj hattının kapasitelerine bağlı olarak çeşitli kısıtlar mevcuttur. Bu kısıtlar kurulan modellerde dikkate alınmıştır. Hazırlık sürelerinin çok kısa olması nedeniyle, hazırlık süreleri göz önünde bulundurulmamıştır.

Problem, “üretim çizelgelemede üretim düzgünleştirme” ve “üretim sıralamada üretim düzgünleştirme” olmak üzere iki aşamada ele alınmıştır. İzleyen bölümlerde problemin genel

olarak ürün tipleri ve kısıtları verildikten sonra her bir çözüm yaklaşımı için kurulan modeller, çözüm yöntemleri ve sonuçları verilmiştir.

4.1. Üretim Çizelgeleme için Çözüm Yaklaşımları

Çizelgeleme problemlerinde literatür incelendiğinde genellikle doğrusal programlama modellerinin kullanıldığı görülmüştür. Doğrusal Programlama yaklaşımının bilgisayar desteğine yatkınlığı, kolay çözülebilirliği, en iyi çözümü vermesi, maliyet, kapasite ve talepteki değişimler için duyarlılık çözümlerine olanak vermesi gibi nedenlerden dolayı bu çalışmada da doğrusal programlama yaklaşımı tercih edilmiştir.

6 günlük (1 haftalık) bir çizelgeleme için, talepleri karşılayacak ve aşağıda belirtilen kısıtları sağlayacak şekilde problem “tamsayılı doğrusal karar modeli”, “düzgünleştirme modeli” ve “geriye doğru çizelgeleme yöntemi” dikkate alınarak üç farklı yaklaşımla çözülmüştür. Sonuçlar, ortalamalar dikkate alınarak ‘teslimatı geciken araç sayısı’, ‘stokta taşınan araç sayısı’ ve ‘başlangıçta stokta bulundurulması gereken araç sayısı’ ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır.

Kısıtlar:

1. Günde ilgili montaj hattında en fazla 460 adet otomobil üretilebilir,
2. Bir günde üretilen ‘A’ tip otomobilin miktarı 25'ten fazla olamaz (A tipinin 3 versiyonu mevcuttur),
3. Bir günde üretilen 'B' tip otomobilin miktarı 30'dan fazla olamaz (B tipinin 5 versiyonu mevcuttur),
4. Bir günde üretilen gövde tipi 'G1' olan otomobilin miktarı 66'dan fazla olamaz (G1 gövde tipli 9 model mevcuttur),
5. Bir günde üretilen motor tipi 'M2' olan otomobillerin miktarı 34'den fazla olamaz (M2 motor tipli 16 model mevcuttur),

Diğer kombinasyonlar üzerinde kısıt bulunmamaktadır.

4.1.1. Tamsayı Doğrusal Karar Modeli

Önerilen bu modelin amacı, işletmenin en çok önem verdiği zamanında teslimat hedefini gerçekleştiren ve aynı zamanda genel kısıtları da sağlayan bir üretim çizelgesinin hazırlanmasıdır. Aşağıda karar değişkenleri, parametreler, amaç fonksiyonu, kısıtlar ve matematiksel model yer almaktadır. Bu matematiksel modelde en küçüklenmeye çalışılan toplam maliyet; üretim maliyeti, stokta taşıma maliyeti ve talebi geç karşılama maliyetini içermektedir. Bu modelin özelliği otomobillerin talep edildiği günde üretilmemesine olanak vermesidir; yani, modellerin zamanında üretilmesinin yanında, stokta taşınmasına ve talebin geç karşılanmasına izin verilmesidir. Ancak geç teslimat mümkün olduğunca istenmediğinden talebi geç karşılama maliyeti diğer maliyetlere göre oldukça yüksek tutulmuştur. Ayrıca, bu modelde teslimatının kesinlikle geciktirilmemesi istenen veya geç üretimi çok önemli olmayan ürünlerin gecikme maliyetlerini çok fazla artırma ya da azaltma yoluyla ürün modellerine ağırlıklandırma/ önceliklendirme kazandırılabilir. Model aşağıda tarif edilmiştir.

Karar değişkeni:

x_{ijk} : i . modelin j . günlük talebinin k . gün üretilme miktarı;

($i=1,2,\dots,50$; $j=1,2,\dots,6$; $k=1,2,\dots,7$)

($i=1,2,3$ A tipli modeli ve versiyonlarını; $i=4,\dots,8$ B tipli modeli ve versiyonlarını, $i=19,\dots,27$ G1 gövde tipli modeli temsil etmektedir. $i=1$ ve $i=7,\dots,22$ modellerinde M2 motor hacimli modelleri göstermektedir.

Parametreler:

t_{ij} : i . modelin j . günlük talebi

P: üretim maliyeti ($p=20$)

h : stokta taşıma maliyeti ($h=30$)

b : talebi geç karşılama maliyeti ($b=500$)

C_k : günlük üretim kapasitesi ($c_k=460$)

Amaç Fonksiyonu:

Enk Toplam Maliyet = üretim maliyeti + stokta taşıma maliyeti + talebi geç karşılama maliyeti

Tamsayı doğrusal karar modelinin matematiksel ifadesi:

$$Enk z = \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^6 [\sum_{k=j}^j x_{ijk} p + \sum_{k=1}^{j-1} (j-k)x_{ijk} h + \sum_{k=j+1}^6 (k-j)x_{ijk} b] \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^6 \sum_{k=1}^7 x_{ijk} = t_{ij} \quad (\text{talebi karşılama kısıtı}) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^6 x_{ijk} \leq C_k \quad k=1,2,\dots,7 \text{ (günlük üretim kapasitesi kısıtı)} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^6 x_{ijk} \leq 25 \quad k=1,2,\dots,7 \text{ (A tip modelin üretim kapasite kısıtı)} \quad (4)$$

$$\sum_{i=4}^8 \sum_{j=1}^6 x_{ijk} \leq 30 \quad k=1,2,\dots,7 \text{ (B tip modelin üretim kapasite kısıtı)} \quad (5)$$

$$\sum_{i=19}^{27} \sum_{j=1}^6 x_{ijk} \leq 66 \quad k=1,2,\dots,7 \text{ (G1 gövde tipli modelin üretim kapasite kısıtı)} \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^6 x_{1,jk} + \sum_{i=7}^{22} \sum_{j=1}^6 x_{ijk} \leq 34 \quad k=1,2,\dots,7 \text{ (M2 motor hacimli modelin üretim kapasite kısıtı)} \quad (7)$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (8)$$

Model LINGO (Extended) paket programı yardımıyla çözdürülmüştür. Kodlama yardımı ile talepler MS Excel'den alınmakta ve sonuçlar yine MS Excel'e yazdırılmaktadır.

4.1.2. Düzgünleştirme Modeli

Düzgünleştirme modeli her gün her otomobil modelinden yaklaşık aynı miktarda üretilmesi felsefesini esas almaktadır. Bu nedenle amaç fonksiyonu, üretim maliyeti ve stokta taşıma maliyetinin yanında, fazla ve az üretimden kaynaklanan düzgünleştirme maliyetlerini de dikkate almaktadır. Karar modelinin değişkenleri, parametreleri, kısıtlar, ve amaç fonksiyonu aşağıda tanımlanmıştır.

Karar değişkenleri:

$x_{ij} = i$. modelin j . gün üretildiği miktar ($i=1,2,\dots,50$ $j=1,2,\dots,6$)

$x'_{ij} = j$.günkü üretimin ($j-1$).günkü üretimden fazla olan miktarı

($x'_{ij} = 0$, eğer j .günkü üretim ($j-1$).günkü üretimden azsa)

$x_{ij} - x''_{ij} = x_{ij} - x_{i(j-1)}$ formülünden fazla üretim miktarı $x''_{ij} = x_{i(j-1)} - x_{ij}$ şeklinde hesaplanır.

$x''_{ij} = j$.günkü üretimin ($j-1$).günkü üretimden az olan miktarı

($x''_{ij} = 0$, eğer j .günkü üretim ($j-1$).günkü üretimden fazlaysa)

$x_{ij} - x''_{ij} = x_{ij} - x_{i(j-1)}$ formülünden az üretim miktarı $x'_{ij} = x_{ij} - x_{i(j-1)}$ şeklinde hesaplanır.

$s_{ij} = i$. modelin j . günün sonunda stokta kalan miktarı

j . günkü stok miktarı = ($j-1$).günkü stok miktarı + j .günkü üretim – j .günkü talep

$s_{ij} = s_{i(j-1)} + x_{ij} - t_{ij}$

(Bu model için, başlangıçta stok bulunmadığı ($s_{i0}=0$) ve 1.gün için önceki üretimin de, tüm taleplerin ortalaması olduğu varsayılmıştır ($x_{i0} = \sum t_{ij} / 7$).

Parametreler:

t_{ij} : i . modelin j . günkü talebi

P : üretim maliyeti ($p=20$)

h : stok maliyeti ($h=30$)

r : fazla üretimden kaynaklanan düzgünleştirme maliyeti ($r=50$)

d : az üretimden kaynaklanan düzgünleştirme maliyeti ($d=40$)

C_j : günlük üretim kapasitesi ($c_j=460$)

Amaç fonksiyonu:

Enk Toplam Maliyet = üretim maliyeti + stokta taşıma maliyeti + fazla üretimden kaynaklanan düzgünleştirme maliyeti + az üretimden kaynaklanan düzgünleştirme maliyeti

Düzgünleştirme modelinin matematiksel ifadesi:

$$Enkz = \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^6 20 x_{ij} + \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^6 30 s_{ij} + \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^6 50 x'_{ij} + \sum_{i=1}^{50} \sum_{j=1}^6 40 x''_{ij} \quad (9)$$

$$s_{ij} = s_{i(j-1)} + x_{ij} - t_{ij} \quad (10)$$

$$x_{ij} - x_{i(j-1)} = x_{ij} - x''_{ij} \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^{50} x_{ij} \leq c_j \quad (\text{günlük üretim kapasitesi kısıtı}) \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^3 x_{ij} \leq 25 \quad j=1,2,\dots,6 \quad (\text{A tipi oto üretim kapasite kısıtı}) \quad (13)$$

$$\sum_{i=4}^8 x_{ij} \leq 30 \quad j=1,2,\dots,6 \quad (\text{B tip modelin üretim kapasite kısıtı}) \quad (14)$$

$$\sum_{i=19}^{27} x_{ij} \leq 66 \quad j=1,2,\dots,6 \quad (\text{G1 gövde tipli modelin üretim kapasite kısıtı}) \quad (15)$$

$$x_{1j} + \sum_{i=7}^{22} x_{ij} \leq 34 \quad j=1,2,\dots,6 \quad (\text{M2 motor tipili modelin üretim kapasite kısıtı}) \quad (16)$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ ve tamsayı} \quad (17)$$

Bu matematiksel model LINGO (Extended) paket program yardımıyla çözülmüştür. Bir önceki modeldeki gibi veriler MS Excel'den alınmakta ve sonuçlar yine MS Excel'e yazdırılmaktadır.

4.1.3. Geriye Doğru Çizelgeleme Yöntemi

Yukarıda kullanılan doğrusal karar modellerinin yanı sıra bir de sezgisel yaklaşım önerilmiştir. Bu sezgisel ile, işletmenin en önemli olarak gördüğü ‘teslimatı zamanında karşılama’ amacı göz önünde bulundurularak ve modellerin gün içerisinde talepleri doğrultusunda eşit miktarlarda üretilmeleri sağlanarak bir nevi ‘düzenleştirilmiş üretim’ elde edilmiştir. Teslim tarihini karşılama; algoritmanın, planlama döneminin en son noktasından geriye doğru başlamasıyla sağlanmaktadır. Daha sonra günlük toplam üretim kapasitesi ve bazı modellere ait üretim kısıtlarına bakılmaktadır. Kısıtlar sağlandığında o günün talepleri üretilmekte, üretilmeyen talepler bir önceki güne aktarılmaktadır. Böylece diğer güne geçilmekte ve aynı şekilde devam edilerek son güne gelinmektedir. Son günün üretilmeyen taleplerinin karşılanması için başlangıç stok bulundurulması gerekliliği söz konusudur. Bu modelde düzenleştirilmiş üretim ise, algoritmanın karşılanabilecek taleplere bakarken, bu talepleri birer arttırarak durumu kontrol etmesi ve kısıtlar sağlanmayıp diğer güne geçilmeye kadar bunun tekrar etmesinden kaynaklanmaktadır. Bu da düzenleştirilmiş üretimin ‘çeşitli ve az üretim’ ilkesine uymakta, herhangi bir üründe yığılma gözlenmemekte, üretilmeleri için tüm modellere eşit fırsat sunulmaktadır.

Program Visual Basic software ile yazılmıştır. Programın algoritması Ek-1’de verilmiştir. Bu algoritmada işletmenin istediği kısıtlar sağlanmış ve üretim düzenleştirilmesi göz önüne alınmıştır. Bu modelde aynı talep verileriyle elde edilen çözümler karşılaştırılmıştır.

4.1.4. Çizelgeleme Sonuçlarının Karşılaştırılması

Üretim çizelgeleme için 3 farklı yaklaşım kullanılmış ve sonuçlar “Toplam maliyet”, “Stokta taşınan miktar” ve “Başlangıç stok miktarı” ve “Geç karşılanan miktar” ölçütleri altında Tablo 1’deki gibi karşılaştırılmıştır.

Bahsedilen ölçütler çerçevesinde bakıldığında, en az maliyet geriye doğru çizelgeleme modeli ile sağlanmış, ancak burada da stokta taşınan miktar fazla artış göstermiştir. Stokta taşınmanın en az olduğu model tamsayı doğrusal karar modeli olarak görülmekte, ancak 4 adet otomobil talebi geç karşılanmaktadır. Geç

karşılamanın istenmediği durumda, “Geriye Doğru Çizelgeleme Modeli” hem maliyet açısından hem de stokta taşınan miktar açısından daha iyi görünmektedir. Bu önerilen modeller karar vericiye ele alınan ölçütlere göre seçenek sunmaktadır. Bu şekilde uygun model, karar verici tarafından seçilebilir.

Tablo 1: Çizelgeleme probleminin çözüm yaklaşımlarının karşılaştırılması

Yöntem	Toplam Maliyet	Stokta taşıma miktarı	Başlangıç stok miktarı	Geç karşılama miktarı
Tamsayı Doğrusal Karar Modeli	60.100	6 adet	-	4 adet/gün
Düzenleştirme Modeli	69.100	211 adet	84 adet	-
Geriye Doğru Çizelgeleme Modeli	56.150	43 adet	17 adet	-

Üretim düzenleştirme probleminin çizelgeleme aşamasında, doğrusal programlama modelleri ve geliştirilen sezgisel yardımcıyla çözümünün sonucunda ‘hangi gün, hangi modelden, ne kadar üretilecek?’ sorusunun cevabı elde edilmiştir. Ancak daha sonra, modellerin gün içerisinde, hangi sırayla montaj hattına yükleneceği gibi bir sıralama problemi ile karşılaşılmaktadır. İzleyen bölümde gün içinde sıralama problemine getirilen çözüm Değiştirilmiş Goal Chasing Metodu anlatılmıştır.

4.2. Sıralama Yaklaşımı

Altı günlük çizelgeleme sonucu hangi gün hangi modelden ne kadar üretileceği belli olduktan sonra, modellerin hangi sırada yükleneceğinin belirlenmesi olan sıralama problemi için “Toyota Goal Chasing Metodu”na dayanan bir sıralama yaklaşımı geliştirilmiştir. Gün içinde sıralama problemi için, montaj hattındaki 4 iş istasyonundaki her bir otomobil modelinin montaj hattındaki işlem süreleri dikkate alınarak bir çözüm önerisi geliştirilmiştir. Her bir araç modelinin her bir iş istasyonundaki işlem sürelerinin farklı olması, montaj hattında iş istasyonlarında beklemelere/dar boğazlara yol açmaktadır. Böyle bir durumda darboğaz meydana gelen iş istasyonuna iş gücü takviyesi yapılarak problem aşılmaya çalışılmaktadır.

Diğer taraftan iş istasyonlarında işgücünün gereksiz beklemeleri de ortaya çıkmaktadır. Halbuki işlem süreleri uygun sıralama ile dengelenerek bahsedilen bekleme ve dar boğazlar ortadan kaldırılabilir. Bu amaçla Toyota Goal Chasing metodu, işlem süreleri göz önüne alınacak şekilde değiştirilmiştir. Toyota Goal Chasing metodu montaj hattına gelen modellerde kullanılan alt parçalarının kullanım oranlarındaki değişimin en küçüklenmesi amacını taşımaktadır. Bu çalışmada kullanılan ve Değiştirilmiş Toyota Goal Chasing metodu ise, montaj hattı üzerindeki iş istasyonlarına gelen modellerin *işlem sürelerindeki değişimin en küçüklenmesi* amacını taşımaktadır. İzleyen bölümde Toyota Goal Chasing metodu kısaca anlatılmıştır. Devamında ise Değiştirilmiş Toyota Goal Chasing metodundan bahsedilerek, uygulamanın gösterilmesi için 20 araç modelinin 1 günlük sıralaması yapılmıştır. Diğer günler için de aynı yöntem kullanılarak sıralama yapılabilir.

4.2.1 Toyota Goal Chasing Metodu

Karma model montaj hattı sıralama probleminde iki temel hedef söz konusudur (Monden, 1983):

Hedef 1: Montaj hattında bulunan iş istasyonlarının eşit iş yüküyle çalışmalarını sağlayacak, üretim gecikmelerini ve hat duruşlarını önleyecek üretim sırasının belirlenmesi (İş yükü dengeleme-Load Goal).

Hedef 2: Son montaj hattında her bir parça için sabit bir üretim hızının sağlanması. (Kullanım düzgünleştirme – Usage Goal).

Bu hedefleri gerçekleştirmek için bir karma modellenmiş montaj hattı sıralamasının birincil amacı, tüm parçaların tüketim hızını mümkün olduğu kadar sabite yakın tutmaktır. Hedef 1 ile ilgili olarak, bir ürünün önceden belirlenmiş çevrim zamanından daha uzun işlem zamanına sahip olabileceğine işaret etmek önemlidir. Bu, karma modellenmiş montaj hattında hat dengeleme, “karma modellerin her miktarı tarafından ağırlıklandırılan her sürecin işlem zamanı çevrim zamanını aşmamalı” koşulunun altında yapılır olmasındandır. Bu koşul (kısıt) aşağıdaki formül ile tanımlanabilir:

$$\max_l \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{\alpha} Q_i T_{il}}{\sum_{i=1}^{\alpha} Q_i} \right\} \leq C \quad (18)$$

Burada, $Q_i = i$. ürünün planlanan üretim miktarı ($i=1, \dots, \alpha$); $T_{il} = l$ işleminde i . ürünün bir birimlik işlem zamanı ve C çevrim süresini temsil etmektedir.

Toyota’da kullanılan Kanban sisteminde, montaj hattında çeşitli parçaları veya malzemeleri tedarik eden önceki işlemlere büyük önem verilmiştir. Bu “çekme” sistemlerinin altında, üretim miktarlarındaki değişim veya işlemden önceki aktarma zamanları en küçüklenmelidir. Aynı zamanda onların kendi ürün (work-in-process) stokları da en küçüklenmeye çalışılmaktadır. Dolayısıyla karma modellenmiş montaj hattında ikinci hedefe ulaşmak için her parça için her saatte kullanılan miktar (tüketim hızı gibi) mümkün olduğu kadar sabit tutulmalıdır. Toyota’nın sıralama metodu bu ikinci amaca ulaşmak için tasarlanmıştır. Goal Chasing metodu, üretilecek ürünlerde kullanılan parçaların belirlenen üretim sıralamasında kullanım zamanlarını hesaplayıp, en küçük kullanım mesafesini dikkate alan bir yaklaşımdır.

i : farklı ürün tipleri ($i=1, 2, \dots, \alpha$)

A_i : üretim hattında bulunan i . ürün tipi miktarı

j : parça indeksi ($j=1, 2, \dots, \beta$)

$b_{i,j}$: bir birim A_i ürünü üretmek için j . parçadan gerekli olan miktar

X_{jk} : 1. sıradan k . sıraya kadar çizelgelenen ürünlerin üretimi için j . parçadan gereken miktar

k : çizelgeleme pozisyonunu gösteren indeks ($k=1, 2, \dots, K$)

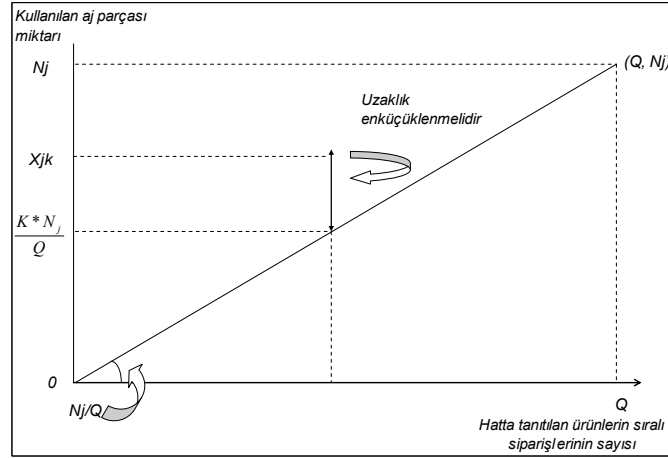
N_j : üretim periyodu boyunca j . üründen gereken toplam miktar

Q : üretim periyodu boyunca çizelgelenen ürünlerin toplam miktarı

$$\frac{K * N_j}{Q} = \text{ürünlerden } k \text{ adet üretmek için } j. \text{ parçadan gerekli ortalama miktar}$$

Bir A_j parçasının tüketim hızını sabit tutmak amacıyla, X_{jk} miktarı ve mümkün olduğu kadar

$\frac{K * N_j}{Q}$ değerine yakın olmalıdır. Bu Toyota’nın sıralama algoritmasının altında yatan temel görüştür ve Şekil 1’de gösterilmiştir (Monden, 1983):



Şekil 1. Sabit tüketim ve gerçekleşen tüketim miktarları arasındaki ilişki

Üretim düzgünleştirme olarak ele alınan modelde amaç, bütün parçalar için ideal birikimli kullanım miktarları ile çizelgelendiğinde gerçekleşen kullanım miktarları arasındaki uzaklığın karelerinin toplamının en küçüklenmesi olarak belirlenmiştir. Bu durum 19. eşitlikte ifade edilmektedir. Toyota tarafından bu fikir üzerinde geliştirilen ve Ek-1’de gösterilen algoritma *Goal Chasing Metodu* diye adlandırılmaktadır. Bu yöntem her parçanın tüketim hızını sabit kılacak bir sıralama tablosunu oluşturmakta ve algoritma adımları aşağıda verilmektedir.

$$D_k = \sqrt{\sum_{j=1}^{\beta} \left(\frac{K * N_j}{Q} - X_{jk} \right)^2} \quad (19)$$

Goal Chasing Algoritması: (Monden, 1983)

- Adım 1* $K=1$, $x_{j,k-1} = 0$, ($j=1, \dots, \beta$), $S_{k-1} = \{1, \dots, \alpha\}$ olarak belirle.
Adım 2 Sıralama çizelgesinde D_k uzaklığını en küçükleyen A_i^* ürününü K 'ıncı sıra olarak belirle. En küçük uzaklık aşağıdaki formülle bulunacaktır:

$$D_{ki^*} = \min_i \{ D_{ki} \}, i \in S_{k-1}$$

$$D_{ki} = \sqrt{\sum_{j=1}^{\beta} \left(\frac{K * N_j}{Q} - X_{j,k-1} - b_{ij} \right)^2} \quad (20)$$

- Adım 3* Bir A_i ürünün tüm birimleri sıralanmışsa ve sıralama çizelgesinde dahil edilmişse,
 $S_k = S_{k-1} - \{i^*\}$ olarak belirle.
 Eğer bir A_i ürünün bazı birimleri hala sıralanmamış olarak kalırsa,
 $S_k = S_{k-1}$ 'yi belirle.
Adım 4 Eğer $S_k = \emptyset$ (boş küme) ise, algoritma sona erecektir.
 Eğer $S_k \neq \emptyset$ ise, sonra $x_{jk} = x_{j,k-1} + b_{ij}$ ($j=1, \dots, \beta$)'yü hesapla ve $K = K + 1$ yaparak Adım 2 ye geri dön.

4.2.2. Değiştirilmiş Goal Chasing Metodu

Goal Chasing-1 yöntemi; bir montaj hattında, her bir ürün için gereken alt parçaların tüketim hızının sabitlenmesine dayandığı gibi; aynı düşünceyle, hat üzerinde, ürünün her bir istasyonda üretilmesi için gereken zamanların oranının sabit tutulmasına da dayandırılabilir. Bu çalışmada, Goal-Chasing yöntemi iş

istasyonlarındaki işlem sürelerini düzgünleştirmek amacı ile kullanılmıştır. Buradaki en önemli değişiklik, ürünlerin alt parçaları ve kullanılan adetleri yerine her bir iş istasyonundaki işlem sürelerinin göz önüne alınmasıdır. Bu şekilde, sıralı olarak hatta yüklenen modellerin istasyonlarda kuyrukta beklemesinin ya da istasyonların boş beklemesinin ortadan kalkması, üretim zamanları

açısından düzgün bir akışın sağlanması hedeflenmektedir. Dolayısıyla Goal Chasing yöntemi bu çalışmada değiştirilerek edilerek, işlem sürelerinin düzgünleştirilmesi amacıyla kullanılmıştır.

Problemin bu çözüm metoduyla çözülebileceğini göstermek için, 4 istasyonu olan bir montaj hattı üzerinde 20 model ele alınmış ve bu modellerin talepleri ve her bir istasyonda işlem gördükleri süreler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Değiştirilmiş Goal Chasing metodu için bir örnek

Modeller	Talep	1.İstasyon	2.İstasyon	3.İstasyon	4.İstasyon
A	2	20	30	30	40
B	3	20	15	20	30
C	1	30	40	50	80
D	5	40	30	25	20
E	6	25	40	30	50
F	3	20	25	30	80
G	4	30	30	25	40
H	2	25	30	40	35
I	1	40	50	30	40
J	3	50	30	40	120
K	5	20	30	30	45
L	4	30	30	25	50
M	6	20	25	30	50
N	2	40	30	25	20
O	3	25	40	30	50
P	10	40	30	25	80
R	5	50	30	40	120
S	2	25	30	40	35
T	4	40	50	30	40
U	3	20	15	20	30
N (Toplam)	74	610	630	615	1055
N/Q (Ortalama)		30,5	31,5	30,75	52,75

Modellerde kullanılan alt parçalar yerine işlem süreleri dikkate alınarak uygulanan Değiştirilmiş Toyota Goal Chasing metoduna göre elde edilen sıralama şu şekilde olacaktır:

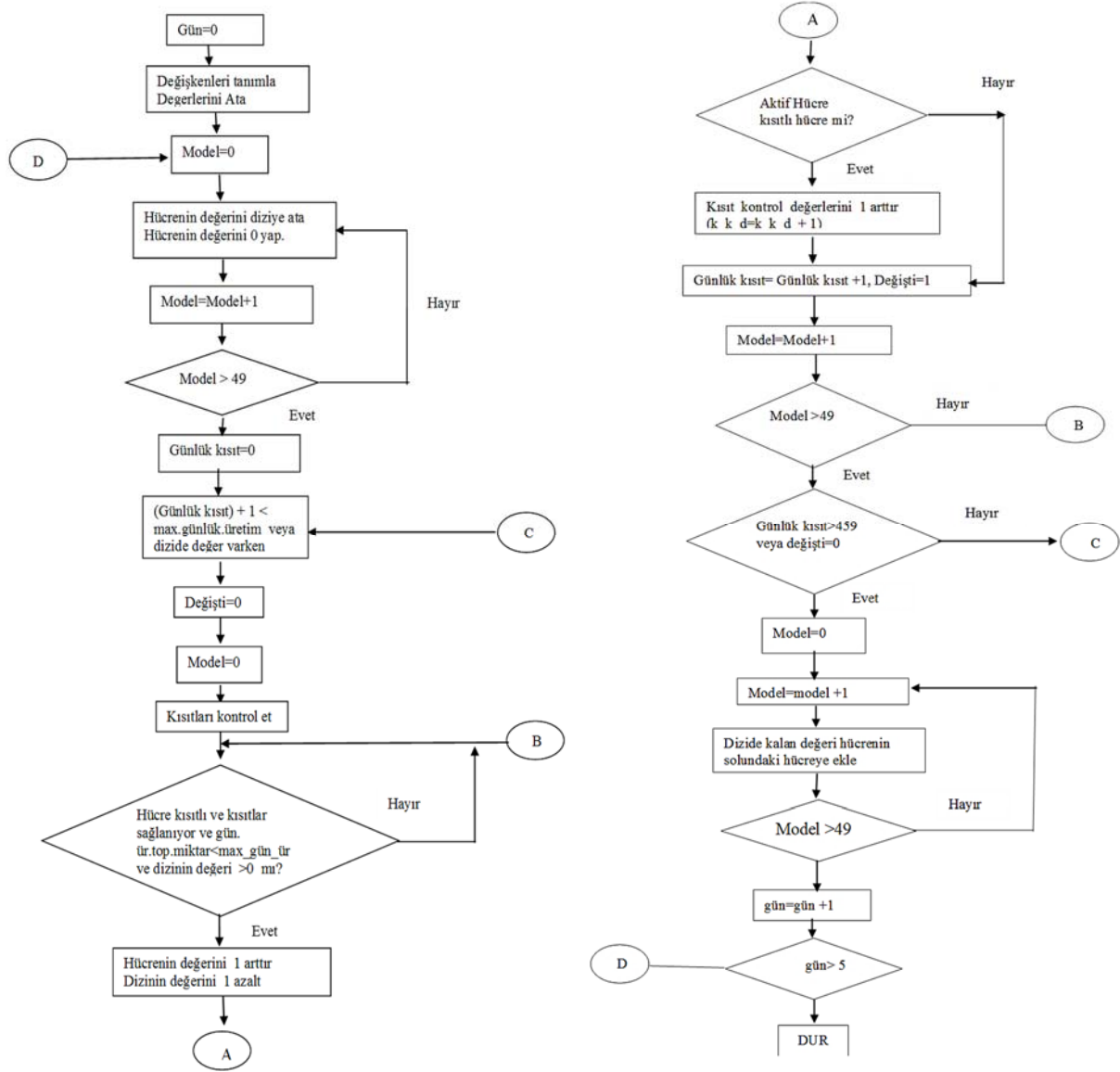
L,L,C,B,G,L,P,G,L,F,I,M,P,H,P,H,G,P,M,E,P,G,
M,P,S,P,S,T,P,M,M,P,D,P,K,E,F,T,M,F,D,J,D,
K,E,E,J,D,B,E,J,D,K,K,E,R,B,N,O,R,B,O,K,O,
T,R,U,A,A,R,N,U,T,R,U.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Üretim düzgünleştirme özellikle karma model montaj hatlarında, hat etrafındaki stokların düzgünleştirilmesi amacıyla, ürünlerde kullanılan parçaların sabit hızla tüketimini sağlamak amaçlı kullanılmaktadır. Bu makalede, üretim düzgünleştirme iş yükünün dengelenmesi amacıyla üretim süreleri dikkate alınarak Değiştirilmiş Goal Chasing metodu önerilmiştir.

Bu çalışmada öncelikle karma model montaj hatlarına sahip olan bir otomotiv işletmesinde çizelgeleme ve sıralama problemleri ele alınmıştır. Çizelgeleme problemi üretim düzgünleştirme modellerini içeren üç çözüm yaklaşımı önerilmiş, işletmenin kısıtları dikkate alınarak “Tamsayılı Doğrusal Karar Modeli”, “Düzenleştirme Modeli” ve “Geriye Doğru Çizelgeleme Modeli” ile çizelgeleme yapılmıştır. Elde edilen alternatif çözümler, birbirleri ile çeşitli ölçütlere göre karşılaştırılmıştır. “Geriye Doğru Çizelgeleme Modeli” en az maliyetle ve geç karşılama olmaksızın çözüm üretmesi nedeniyle önerilmiştir. Sıralama problemi için ise, parça tüketim hızlarını düzgünleştirmeyi esas alan Goal Chasing metodu, üretim sürelerini düzgünleştirilecek şekilde değiştirilmiş ve işler bu metoda göre sıralanmıştır.

Hem iş yükü hem de üretimdeki stokların düzgünleştirilmesi karma model üretim yapan hatlarda oldukça önem taşımaktadır. Bu makalede, karma model montaj hatları için çizelgeleme ve sıralama yaklaşımları önerilmiş ve yöntemlerin sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Karar verici kendi ölçütlerine göre bu yöntemlerden birisini seçebilir. Bundan sonraki çalışmalarda, seçilen yöntemi göz önüne alan bir Karar Destek Sistemi oluşturularak, önerilen bu yöntemler firmada uygulamaya alınabilir.



Çizelge 1. Geriye Doğru Çizelgeleme Yöntemi

KAYNAKÇA

- Chakravarty, A. K. and Shtub A., (1985). "New Technology Investments in Multistage Production Systems", *Decision Science*, vol. 16(3), 248-264.
- Dar-El, E. M. And Cothor R.F., (1975). "Assembly Line Sequencing for Model-mix", *International Journal of Production Research*, 13, 463-477.
- Dar-El, E. M. and Rabinovitch M., (1988). "Optimal Planning and Scheduling of Assembly Lines", *International Journal of Production Research*, vol.26, 1433-1450.
- Dar-El E. M., and Cucuy, (1977). "Optimal Mixed Model Sequencing for Balanced Assembly Lines", *Omega*, vol.5, 333-342.
- Emde, S. and Boysen N., (2012). "Optimally Routing and Scheduling Tow Trains for JIT-Supply of Mixed-Model Assembly Lines", *European Journal of Operational Research*, vol. 217, 287-299.
- Inman, P. R. and Bulfin R. L., (1991). "Note on Sequencing JIT Mixed-Model Assembly Lines", *Management Science*, vol. 3 (7), 904-910.
- James, P., Womack D.T., Jones, D.R. (1992). "The Machine that Changed The World", *Business Horizons*, vol. 35(3), 81-82.
- Karimi-Nasab M. and Aryanezhad M.B., (2001). "A Multi-Objective Production Smoothing Model with Compressible Operating Times", *Applied Mathematical Modelling*, vol. 35, 3596-3610.
- Macaskill, J. L. C., (1972). "Production-Line Balanced for Mixed-Model Lines". *Management Science*, vol. 19(4), 423-434.
- Mansouri, S.A., (2005). "A Multi-Objective Genetic Algorithm for Mixed-Model Sequencing on JIT Assembly Lines", *European Journal of Operational Research*, vol. 167(3), 696-716.
- McMullen, P. R. and Frazier G.V., (2000). "A Simulated Annealing Approach to Mixed-Model Sequencing with Multiple Objectives on a JIT Line", *IIE Transactions*, vol. 3(8), 679-686.
- McMullen, P. R., (1998). "JIT Sequencing for Mixed-Model Assembly Lines with Setups using Tabu Search", *Production Planning and Control*, vol.9 (5), 504-510.
- McMullen, P. R., (2001a). "An Ant Colony Optimization Approach to Addressing A JIT Sequencing Problem with Multiple Objectives", *Artificial Intelligence in Engineering*, vol.15, 309-317.
- McMullen, P. R., (2001b). "A Kohonen Self-Organizing Map Approach to Addressing A Multiple Objective, Mixed-Model JIT Sequencing Problem", *International Journal of Production Economics*, vol. 72, 59-71.
- Meral, S. and Erkip N., (1991). "Design and Analysis of A Just-In-Time Production Line", *In the Proceedings of the International Conference on Just-in-Time Manufacturing Systems*, 61-79.
- Meral, S. and Korkmazel T., (2001). "Bi-Criteria Sequencing Methods for The Mixed-Model Assembly Line in Just-in-Time Production Systems", *European Journal of Operational Research*, vol 131, 188-207.
- Miltenburg, J., (1989). "Level Schedules for Mixed-Model Assembly Lines in Just-in-Time Production Systems", *Management Science*, vol. 35 (2), 192-207.
- Miltenburg, J., Steiner G., Yeomans S., (1990). "A Dynamic Programming Algorithm for Scheduling Mixed-Model Just-in-Time Production Systems", *Mathematical Computation Modeling*, vol. 13, 57-66.
- Monden, Y. (1983). *Toyota Production System*, Institute of Industrial Engineers Press, Atlanta.
- Nearchou, A.S. (2011). "Maximizing Production Rate and Workload Smoothing in Assembly Lines using Particle Swarm Optimization", *International Journal of Production Economics*, vol.129, 242-250.
- Tavakkoli-Moghaddam, R. and Rahimi-Vahed A. R. (2006). "Multi-criteria Sequencing Problem for A Mixed-Model Assembly Line in A JIT Production System", *Applied Mathematics and Computation*, vol.181, 1471-1481, 2006.

- Tavakkoli-Moghaddam, R., Gholipour-Kanani Y. and Cheraghalizadeh R., (2012). "Genetic and Memetic Algorithms for Sequencing a New JIT mixed model Assembly Line", *Amirkabir, MISC*, vol . 44(2).
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Moslehi G., Vasei M. and Azaron A., (2006). "A Branch-and-Bound Algorithm for a Single Machine Sequencing to Minimize The Sum of Maximum Earliness and Tardiness with Idle Insert", *Applied Mathematics and Computation*, vol.17(1), 388–408.
- Thomopoulos, N. T. (1970). "Mixed-Model Line Balancing with Smoothed Station Assignments", *Management Science*, vol. 16, 563-603.
- Yavuz, M. and Tufekci, S., (2004a). "Some Lower Bounds on The Mixed-Model Level-Scheduling Problems", *10th International Conference on Industry, Engineering and Management Systems*, 385–395.
- Yavuz, M. and Tufekci, S., (2006). "Bounded Dynamic Programming Solution to The Batching Problem in Mixed-Model Just-in-Time Manufacturing Systems", *International Journal of Production Economics*, vol.103, 841–862, 2006.