

ARA TIRMA MAKALES / RESEARCH ARTICLE

Havva KARABULUT¹, Nihal ERG NEL¹

KARMA MODELL MONTAJ HATLARINDA ÜRETİM ÇİZELGELEME VE SİRALAMA PROBLEMLERİNDE ÜRETİM DÜZGÜNLE TIRME ÇÖZÜMLERİ YAKLAŞIM ÖNERİSİ

ÖZ

Karma model montaj hatları, aynı anda iki ya da daha fazla ürün tipinin aynı hat üzerinde üretilmesi için, çeşitlendirilmiş küçük parti üretimine uygun ve modellerin çeşitliliğine rağmen fazla stok bulundurmada, ani talep değişimlerine hızlı cevap verebilen montaj hatlarıdır. Bahsedilen bu özelliklerinden dolayı, fabrikasyonlarında bekleme/ yığılımlar söz konusu olmaktadır. Bu probleme çözüm olarak, üretim düzgünleştirme modelleri önerilmektedir. Üretim düzgünleştirme, parti büyüklüklerini azaltmayı ve tüm sistem boyunca ürünlerin/ parçaların/ malzemelerin düzeltilmiş tek parça akışını oluşturmaları 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 amaçla ele alınmıştır. Çizelgeleme amacıyla, üretim düzgünleştirme modellerini de içeren üç çözüm yaklaşımı önerilmiş ve işletmenin ulaşmak istediği dengeli üretim için önceliklerinin ve kısıtlarının göz önünde bulundurulduğu çözüm seçenekleri elde edilmiştir. Bu çözümler maliyet ve geç karlılanan araç sayısı ölçütlerine göre karlaştırılmış ve Geriye Dönük Çizelgeleme Modeli seçilmiştir. Sıralama amacıyla ise, otomobil modellerin montaj hattındaki iş sıraları Değerlendirilmiş Goal Chasing metoduna göre sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karma model montaj hattı, Üretim düzgünleştirme, 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.G R

Küreselle en ekonomi dünyası sebebiyle keskinle en rekabete dayanabilmek için firmalar son 30 yıl içerisinde iki felsefeyi üretim ortamlarında hayata geçirmeye çalışmırlardır. 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 gerçekleştirmek 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. Srafların önlenmesiyle kalite artmakta, üretim zamanı ve maliyetler ise azalmaktadır. Bu yedi israf şu şekilde tarif edilmiştir: fazla üretim, gereksiz stok, hatalar, kusurlu üretim, gereksiz hareketler, gereksiz hareketler ve bekleme zamanları.

Yalın üretimin temel bir özelliği 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). Değişken katmayan her türlü atılım ve değişkenliğin yok edilmesi ve malzemelerin gerektiği yerde ve gerektiği zamanda çekilmesi TZÜ'nün esasını oluşturur. TZÜ, her eyi gerektiği anda ve gerektiği kadar, kısaca “tam zamanında” üretmek olan stokless üretim uygulaması, hem ana sanayi hem de yan sanayi üretimlerini kapsar.

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

Karma model montaj hatları çeşitli ürün tiplerini talep dalgalanmalarına kısa sürede cevap verebilen ve stokless olmayı esas alan özellikleri nedeniyle 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 dünülmüştür: montaj hattında, her istasyonunda yükünü düzgünle tirme ve montaj hattında kullanılan tüm parçaların kullanım oranını sabit tutma (Meral, Korkmazel, 2001). Üretim düzgünle tirmenin yanı sıra maliyetlerin en küçükmek de gözden uzak tutulmamaktadır (Nasab ve Aryanezhad, 2011).

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

Bu çalıma mada, teslimat zamanlarına uyum ve stoksuz çalıma amaçlarını karılamak için çizelgeleme; i yüklerinin dengelenmesi için ise sıralama problemlerinin çözümü, üretim düzgünle tirme anlayışı ile geliştirilmi ve bu yaklaşımlar bazı ölçütler esas alınarak karılatılmıdır. Uygulama otomobil üreten bir firmada, bir montaj hattına 50 adet ürün tipi için gelen talepler doğrultusunda üretim çizelgelemesi ve üretim sıralama olarak iki amaçla yapılmıdır. Bu ekilde, talep dalgalanmalarına uyabilen ve teslimatın zamanında karılandırlı bir üretim programlama optimizasyonu için matematiksel modeller ile geliştirilen algoritma ile alternatif çözümler oluşturulmu ve karılatılmıdır.

Makalenin ikinci bölümünde karma model montaj hatları üzerine yapılan çalımlar, üçüncü bölümde karma model montaj hatlarında üretim düzgünle tirme yöntemleri anlatılmıdır. Dördüncü bölümde ise, bir gerçek hayat problemi ele alınarak yöntemin uygulaması yapılmıdır. Daha sonra da sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. KARMA MODEL MONTAJ HATLARI

Karma modellenli montaj hattı sıralama problemine ilk olarak Thomopoulos (1970), i istasyonlarında ürün modellerinin farklı i lemler gerektirdiğini gözleyerek, bu bekleme/uyulmalardan kaynaklanan verimsizli i gidermek için sezgisel olarak basit bir sıralama yöntemi önerilmiştir. Zeyen çalımlarda, 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 çe itli sezgisel veya optimizasyon modelleri geli tirmi lerdir.

Çekme sistemine dayanan Tam Zamanında Üretim yaklaşımı için Miltenburg (1989) karma model montaj hatlarının sıralanmasında bir dorusal olmayan programlama modeli geli tirmiştir. Miltenburg ve di erleri (1990) aynı problemi bir dinamik programlama algoritması ile çözmüştür. Inman ve Bulfin de (1991) problemi yeni bir matematiksel modele dönü türerek çözmü lerdir.

Çekme sistemlerinde düşük stok sa lanırken, talepleri hızlı bir ekilde karılamak için malzeme gereksiniminde büyük dalgalanmalar olmaktadır. Bu yüzden malzeme tedarik edilen süreçlerden gelen parça miktarlarındaki de i im en küçüklenmelidir (Monden, 1983). Bunu gerçekle tirmek için Toyota irketi'nde karma modellenli montaj hattı sıralamasında üretim düzgünle tirmenin amacı, tüm parçaların tüketim hızını mümkün oldu u kadar sabite yakın tutmaktır. Bu amaçla Monden (1983) Toyota, Goal Chasing I ve II (GC-I ve GC-II) yöntemlerini tanıtmıdır. GC-I her a amada, bir-a ama de i imini en küçükleyen modeli seçerken, GC-II ürün yapısıyla ilgili özel varsayımlar altında GC-I'i basitle tirmektedir.

Korkmaz ve Meral (2001), Monden (1983) tarafından tanıtılan yöntemler için iki amacı içeren bir a ırlıklı toplam yaklaşımı geli tirmi lerdir. McMullen (1998), çok amaçlı üretim düzgünle tirme ve üretim süresini en küçükleyecek bir model geli tirmi ve tavlama benzetimi kullanan sezgisel bir model önermi lerdir. McMullen ve Fraizer (2000), McMullen (1998) tarafından önerilen modelini tavlama benzetimi kullanarak çözmü lerdir. McMullen (2001a) çok amaçlı TZÜ ortamında çizelgeleme problemini, karınca kolonisi eniyilemesi yaklaşımı ile ele almıdır. Ayrıca McMullen (2001b) aynı modelin çözümü için Kohonen'in kendini örgütleyen harita yaklaşımını uygulamıdır. Mansouri (2005), TZÜ-ortamında çok amaçlı çizelgeleme problemi için genetik algoritma kullanmıdır. Yavuz ve Tüfekçi (2004), üretim düzgünle tirme problemini parti büyüklü ü belirleme ve sıralama olmak üzere iki amaçla tarif etmi lerdir. Sıralama probleminin bir amaçla problemi olarak ele almı lar, parti büyüklü ü problemi için ise dinamik programlamayı içeren bir sezgisel model önermi lerdir. Yavuz ve Tüfekçi (2006), parti üretim düzgünle tirme problemi üzerinde yo unla mı lar ve TZÜ ortamında sınırlı dinamik programlama yaklaşımı önermi lerdir. Tavakkoli- Moghaddam vd. (2006a) karma model montaj hatlarında çok ölçütlü sıralama problemi ve (2006b) tek makine çizelgelemede dal-sınır tekni inin kullanımına yönelik yaklaşımları sergilemi lerdir. Nearchou (2011) en büyük üretim hızı ve i yükü da ılımının en iyi ekilde düzgünle tirilmesi amaçlarını sa layan 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

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

Bu çalı mada, karma model montaj hattında, üretim düzgünle tirme problemi, biri günlük üretim çizelgeleme, di eri de gün içinde üretim sıralama olmak üzere iki alt probleme ayrılmı tir. Çizelgeleme problemi, farklı iki do rusal programlama yöntemleriyle çözülmü tür. Ayrıca, bir düzgünle tirme bakı açısıyla, uygulama yapılan i letmenin en çok önem verdi i teslim zamanlarının geciktirilmemesi amacına hizmet eden bir sezgisel algoritma geli tirilmi tir. Bu üç yakla ım çe itli parametreler ile kar ıla tırılmı tir. Sıralama problemi için ise “Toyota Goal Chasing Metodu”na dayanan, modellerin montaj hattı üzerindeki i istasyonlarında harcadıkları i lem sürelerinin düzgünle tirilmesi amacına yönelik geli tirilen bir anlamda “Goal Chasing Metodu”nun i lem sürelerini düzgünle tirmek amacıyla modifiye edilen bir yöntemiyle çözülmü tür. Bu ekilde, üretim çizelgeleme için en iyi çözüm yöntemi tespit edilmi , ayrıca sıralama problemine de yeni bir bakı açısı kazandırılmı tir.

3. KARMA MODEL MONTAJ HATLARINDA ÜRETİM DÜZGÜNLE TİRME

Karma modellenli montaj hatlarına karı ık olarak ürün tiplerinin/modellerinin yüklenmesinin birincil ve en önemli i levi, üretimin talep de i ikliklerine yarı mamul stok problemi olmaksızın kolayca adapte olunabilmesinin sa lanmasıdır. kinci olarak, aynı hatta birden fazla ürün tipinin monte edilmesi, gereken toplam hat sayısını ve dolayısıyla toplam fabrika alanını da azalmasını sa layacaktır. Karı ık yüklemenin en önemli üstünlü ü de, ürünlerin bayilere/ mü terilere istenilen sipari bile imine eri ildikten hemen sonra sevk edilebilmelerini sa layarak, üreticileri gereksiz stok alanı bulundurma zorunlulu undan kurtarmaktır.

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

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

zorunda kalacaklar, sonuçta stoksuz çalı ma ilkesine ters dü ülecektir. Örne in, son montaj hattı bir önceki istasyonlardan A, B, ve C tipi ürünlere ait parçaları, kanbanlar kanalıyla hep 2’ er palet halinde çekiyorsa, üretim kanbanları da önceki üretim istasyonlarının kanban kutularında bu adette ve sıralamada birikecek, dolayısıyla üretim de bu adet ve sıralamada gerçekleş ecektir. E er bir sonraki devirde “çekme”, birdenbire 5’er palete çıkarsa, önceki istasyonlarda fazladan 3’er palet (stoksuz çalı ıldı ndan) bulunmayaca ına göre, üretim hemen aksayacaktır. Üretimin aksamaması için getirilebilecek tek çözüm, önceki istasyonlar ve yan sanayilerin yedek yarı mamul stoku tutmaları olacaktır.

Bu tür problemlerle kar ıla mamak için, son montaj hattında karı ık yüklemenin her zaman belli bir düzen içinde gerçekleş tirilmesi ve ürünlerin hattan mümkün olan en küçük partilerde çıkarılması esasına göre çalı ılmalıdır. Karı ık yükleme düzeninin ne olaca ını tayin eden ise, mü teri talep miktarı ve bile imi olmaktadır.

Bir firmanın aylık sipari bile imine 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 oldu u varsayılınsın. Ayda ortalama 20 çalı ma günü oldu una göre, söz konusu bile im, günde 300 A, 150 B, ve 150 C paleti üretilmesi anlamına gelmektedir. Birçok firmada bu bile im, günün ilk yarısında sadece A, geriye kalan ilk 1/4’lük kısmında B, ve son 1/4’lük kısmında da C paletleri üretmek eklinde de erlendirmektedir. Ya da ilk 10 gün A, 5 gün B ve son 5 gün de C ürünü üretecektir. Bu durum, bitmi ürün sto una 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 i lem hazırlık sürelerinin neredeyse “sıfır” zamana indirilmesi gerekmektedir. Bu ekilde, bir yandan her üç ürünün de talep bile imindeki paylarını yansıtabilecek frekansta üretilmeleri sa lanmakta; öte yandan da her bir üründen mümkün oldu unca birer palet (ya da otomobil gibi kompleks ürünler söz konusu oldu unda, birer adet) üretilmektedir. Böylesi bir sistem, hem günlük üretim adetlerine eri ilmesi zorunlulu una ters dü memekte, hem de bir

önceki istasyonları, montaj hattının belli bir düzene dayanmayan “çeki” 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 düzgünle tirme” (production smoothing) denilmektedir.

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

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

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

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 düzgünle tirme” ve “üretim sıralamada üretim düzgünle tirme” olmak üzere iki amaçla ele alınmıştır. Zeynep 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”, “düzgünle tirme modeli” ve “geriye doğru çizelgeleme yöntemi” dikkate alınarak üç farklı yaklaşımla çözülmüştür. Sonuçlar, ortalamalar dikkate alınarak ‘teslimatı geciken araç sayısı’, ‘stokta bulunan araç sayısı’ ve ‘başlangıçta stokta bulundurulması gereken araç sayısı’ ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır.

Kısıtlar:

1. Günde ilgili montaj hattında en fazla 460 adet otomobil üretilir,
2. Bir günde üretilen ‘A’ tip otomobilin miktarı 25’den fazla olamaz (A tipinin 3 versiyonu mevcuttur),
3. Bir günde üretilen ‘B’ tip otomobilin miktarı 30’den fazla olamaz (B tipinin 5 versiyonu mevcuttur),
4. Bir günde üretilen gövde tipi ‘G1’ olan otomobilin miktarı 66’den 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. Tamsayılı 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. Aa'da karar değişkenleri, parametreler, amaç fonksiyonu, kısıtlar ve matematiksel model yer almaktadır. Bu matematiksel modelde en küçüklenmeye çalışılan toplam maliyet; üretim maliyeti, stokta tutulma maliyeti ve talebi geç karılama maliyetini içermektedir. Bu modelin özelliği otomobillerin talep edildiği günde üretilmemesine olanak vermesidir; yani, modellerin zamanında üretilmesinin yanında, stokta tutulmasına ve talebin geç karılmasına izin verilmesidir. Ancak geç teslimat mümkün olduğu istenmediğinden talebi geç karılama 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 ayrılan kaynakları önceliklendirme kazandırılabilir. Model Aa'da 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 tutulma maliyeti ($h=30$)

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

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

Amaç Fonksiyonu:

Enk Toplam Maliyet = üretim maliyeti + stokta tutulma maliyeti + talebi geç karılama maliyeti

Tamsayılı doğrusal karar modelinin matematiksel ifadesi:

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

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

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

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

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

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

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

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

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. Düzgünle tirme Modeli

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

Karar değişkenleri:

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

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

($x'_{ij} = 0$, eğer j .günlük üretim ($j-1$).günlük 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 .günlük üretimin ($j-1$).günlük üretimden az olan miktarı

($x''_{ij} = 0$, eğer j .günlük üretim ($j-1$).günlük 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 . günlük stok miktarı = ($j-1$).günlük stok miktarı + j .günlük üretim – j .günlük 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 ($x_{i0} = t_{ij}/7$).

Parametreler:

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

P : üretim maliyeti ($p=20$)

h : stok maliyeti ($h=30$)

r : fazla üretimden kaynaklanan düzgünle tirme maliyeti ($r=50$)

d : az üretimden kaynaklanan düzgünle tirme maliyeti ($d=40$)

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

Amaç fonksiyonu:

Enk Toplam Maliyet = üretim maliyeti + stokta tutma maliyeti + fazla üretimden kaynaklanan düzgünle tirme maliyeti + az üretimden kaynaklanan düzgünle tirme maliyeti

Düzgünle tirme modelinin matematiksel ifadesi:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 Do ru Çizelgeleme Yöntemi

Yukarıda kullanılan do rusal karar modellerinin yanı sıra bir de sezgisel yaklaşım önerilmiştir. Bu sezgisel ile, işletmenin en önemli olarak gördüğü ‘teslimatı zamanında karılama’ amacı göz önünde bulundurularak ve modellerin gün içerisinde talepleri de rultusunda e it miktarlarda üretilmeleri sağlanarak bir nevi ‘düzgünle tirilmiş üretim’ elde edilmiştir. Teslim tarihini karılama; algoritmanın, planlama döneminin en son noktasından geriye do ru yaklaşımıyla sağlanmaktadır. Daha sonra günlük toplam üretim kapasitesi ve bazı modellere ait üretim kısıtlarına bakılmaktadır. Kısıtlar sağlandı nda o günün talepleri üretilmekte, üretilmeyen talepler bir önceki güne aktarılmaktadır. Böylece di er güne geçilmekte ve aynı ekilde devam edilerek son güne gelinmektedir. Son günün üretilmeyen taleplerinin karılanması için ba langıç stok bulundurulması gereklili i söz konusudur. Bu modelde düzgünle tirilmiş üretim ise, algoritmanın karılanabilecek taleplere bakarken, bu talepleri birer arttırarak durumu kontrol etmesi ve kısıtlar sağlanmayıp di er güne geçilinceye kadar bunun tekrar etmesinden kaynaklanmaktadır. Bu da düzgünle tirilmiş üretimin ‘çeyitli ve az üretim’ ilkesine uymakta, herhangi bir üründe yı lıma gözlenmemekte, üretilmeleri için tüm modellere e it fırsat sunulmaktadır.

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

4.1.4. Çizelgeleme Sonuçlarının Karıla tırılması

Üretim çizelgeleme için 3 farklı yaklaşım kullanılmış ve sonuçlar “Toplam maliyet”, “Stokta ta inan miktar” ve “Ba langıç stok miktarı” ve “Geç karılan miktar” ölçütleri altında Tablo 1’deki gibi karıla tırılmıştır.

Bahsedilen ölçütler çerçevesinde bakıldığında, en az maliyet geriye do ru çizelgeleme modeli ile sağlanmıştır, ancak burada da stokta ta inan miktar fazla artı göstermiştir. Stokta ta inanının en az olduğu model tamsayı do rusal karar modeli olarak görülmekte, ancak 4 adet otomobil talebi geç karılanmaktadır. Geç

karılanmanın istenmediği durumda, “Geriye Do ru Çizelgeleme Modeli” hem maliyet açısından hem de stokta ta inan miktar açısından daha iyi görünmektedir. Bu önerilen modeller karar vericiye ele alınan ölçütlere göre seçenek sunmaktadır. Bu ekilde uygun model, karar verici tarafından seçilebilir.

Tablo 1: Çizelgeleme probleminin çözüm yaklaşımlarının karıla tırılması

Yöntem	Toplam Maliyet	Stokta ta inan miktarı	Ba langıç stok miktarı	Geç karılama miktarı
Tamsayı Do rusal Karar Modeli	60.100	6 adet	-	4 adet/gün
Düzgünle tirme Modeli	69.100	211 adet	84 adet	-
Geriye Do ru Çizelgeleme Modeli	56.150	43 adet	17 adet	-

Üretim düzgünle tirme probleminin çizelgeleme aşamasında, do rusal programlama modelleri ve geliştirilen sezgisel yardımıyla çözümünün sonucunda ‘hangi gün, hangi modelden, ne kadar üretilcek?’ sorusunun cevabı elde edilmiştir. Ancak daha sonra, modellerin gün içerisinde, hangi sırayla montaj hattına yükleneceği gibi bir sıralama problemi ile karıla tırılmaktadır. zleyen bölümde gün içinde sıralama problemine getirilen çözüm De i tirilmiş Goal Chasing Metodu anlatılmıştır.

4.2. Sıralama Yaklaşımı

Altı günlük çizelgeleme sonucu hangi gün hangi modelden ne kadar üretilceği 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 istasyonundaki her bir otomobil modelinin montaj hattındaki işlem süreleri dikkate alınarak bir çözüm önerisi geliştirilmiştir. Her bir araç modelinin her bir istasyonundaki işlem sürelerinin farklı olması, montaj hattında istasyonlarında beklemelere/dar bo azlara yol açmaktadır. Böyle bir durumda darbo az meydana gelen istasyonuna iş gücü takviyesi yapılarak problem a ılmaya çalışılmaktadır.

Diğer taraftan istasyonlarında gücünün gereksiz beklemeleri de ortaya çıkmaktadır. Halbuki işlem süreleri uygun sıralama ile dengelenerek bahsedilen bekleme ve darboğazlar ortadan kaldırılabılır. Bu amaçla Toyota Goal Chasing metodu, işlem süreleri göz önüne alınacak şekilde düzenlenmiştir. Toyota Goal Chasing metodu montaj hattına gelen modellerde kullanılan alt parçalarının kullanım oranlarındaki değişimin en küçüklenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan ve düzenlenmiş Toyota Goal Chasing metodu ise, montaj hattı üzerindeki istasyonlarına gelen modellerin işlem sürelerindeki değişimin en küçüklenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Zeynel bölümünde Toyota Goal Chasing metodu kısaca anlatılmıştır. Devamında ise düzenlenmiş Toyota Goal Chasing metodundan bahsedilerek, uygulamanın gösterilmesi için 20 araç modelinin 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 istasyonlarının emiti yüküyle çalışmalarını sağlayacak, üretim gecikmelerini ve hat durumlarını önleyecek üretim sırasının belirlenmesi (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 olduğunca sabite yakın tutmaktır. Hedef 1 ile ilgili olarak, bir ürünün önceden belirlenmiş çevrim zamanından daha uzun işlem zamanına sahip olabileceğini iddia etmek önemlidir. Bu, karma modellenmiş montaj hattında hat dengeleme, “karma modellerin her miktarı tarafından ayrılandırılan her sürecin işlem zamanı çevrim zamanına eşitlenmelidir” koşulunun altını yapıyor olmasındandır. Bu koşul (kısıt) aşağıdaki formül ile tanımlanabilir:

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

Burada, $Q_i = i$. ürünün planlanan üretim miktarı ($i=1, \dots, r$); $T_{il} = l$ işlemde 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 olduğunca 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 ($i=1,2, \dots, r$)

A_i : üretim hattında bulunan i . ürün tipi miktarı

j : parça indeksi ($j=1,2, \dots, k$)

$b_{i,j}$: 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 ($k=1,2, \dots, K$)

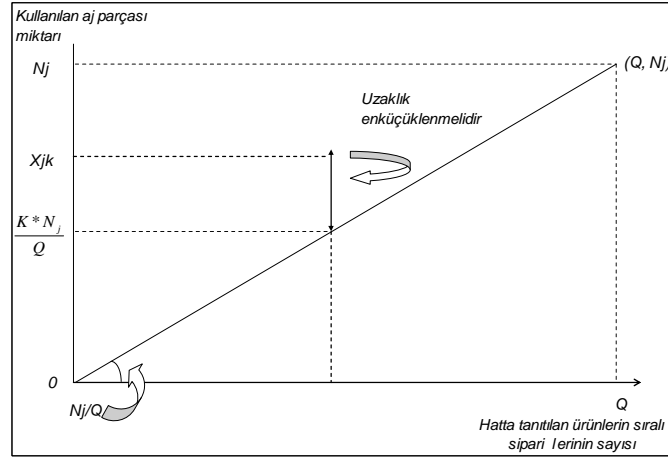
N_j : üretim periyodu boyunca j . üründen gereken toplam miktar

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 olduğunca kadar

$\frac{K * N_j}{Q}$ değeri yakını olmalıdır. Bu Toyota’nın sıralama algoritmasının altında yatan temel görüşü ve ekil 1’de gösterilmiştir (Monden, 1983):



ekil 1. Sabit tüketim ve gerçekte en tüketim miktarları arasındaki ilişki

Üretim düzgünüle tırme olarak ele alınan modelde amaç, bütün parçalar için ideal birikimli kullanım miktarları ile çizelgelendi inde gerçekte en kullanım miktarları arasındaki uzaklı ın karelerinin toplamalarının en küçükleme olarak belirlenmiştir. Bu durum 19. e itlikte ifade edilmektedir. Toyota tarafından bu fikir üzerinde geli tirilen 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.

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

Goal Chasing Algoritması: (Monden, 1983)

- Adım 1* $K=1$, $x_{j,k-1} = 0$, ($j=1, \dots, s$), $S_{k-1} = \{1, \dots, s\}$ olarak belirle.
Adım 2 Sıralama çizelgesinde D_k uzaklı ını en küçükleleyen A_{i^*} ürününü K 'ıncı sıra olarak belirle. En küçük uzaklık a_k aşağıdaki formülle bulunacaktır:

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

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

- Adım 3* Bir A_{i^*} ürünün tüm birimleri sıralanmamış ve sıralama çizelgesinde dahil edilmişse,
 $S_k = S_{k-1} - \{i^*\}$ olarak belirle.
 Eğer bir A_{i^*} ürünün bazı birimleri hala sıralanmamış olarak kalırsa,
 $S_k = S_{k-1}$ 'yü belirle.
Adım 4 Eğer $S_k = \emptyset$ (boş küme) ise, algoritma sona erecektir.
 Eğer $S_k \neq \emptyset$ ise, sonra $x_{jk} = x_{j,k-1} + b_{ij}$ ($j=1, \dots, s$) '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 dayandı ı gibi; aynı dü ünceyle, hat üzerinde, ürünün her bir istasyonda üretilmesi için gereken zamanların oranının sabit tutulmasına da dayandırılabilir. Bu çalışmada, Goal-Chasing yöntemi i

stasyonlarındaki i lem sürelerini düzgünüle tirmek amacı ile kullanılmı ır. Buradaki en önemli de i iklik, ürünlerin alt parçaları ve kullanılan adetleri yerine her bir i istasyonundaki i lem sürelerinin göz önüne alınmasıdır. Bu ekilde, sıralı olarak hatta yüklenen modellerin istasyonlarda kuyrukta beklemesinin ya da istasyonların boş beklemesinin ortadan kalkması, üretim zamanları

açısından düzgün bir akı nı sa laması hedeflenmektedir. Dolayısıyla Goal Chasing yöntemi bu çalı mada de i tirilerek edilerek, i lem sürelerinin düzgünle tirilmesi amacıyla kullanılmı tır.

Problemin bu çözüm metoduyla çözülebilece ini göstermek için, 4 istasyonu olan bir montaj hattı üzerinde 20 model ele alınmı ve bu modellerin talepleri ve her bir istasyonda i lem gördükleri süreler Tablo 2’de verilmi tir.

Tablo 2. De i tirilmi Goal Chasing metodu için bir örnek

Modeller	Talep	1. stasyon	2. stasyon	3. stasyon	4. stasyon
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 i lem süreleri dikkate alınarak uygulanan De i tirilmi Toyota Goal Chasing metoduna göre elde edilen sıralama u ekilde olacaktır:

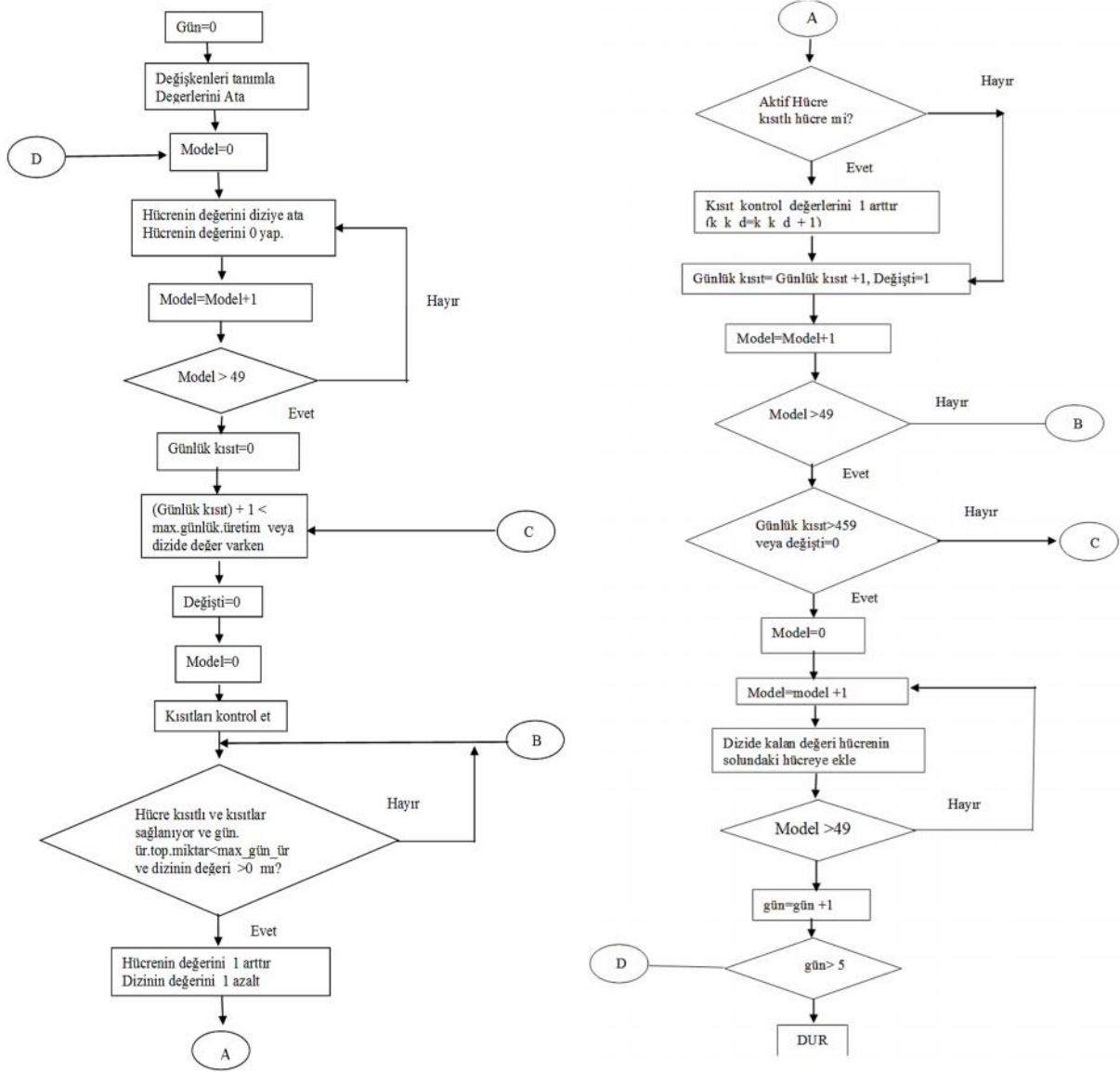
L,L,C,B,G,L,P,G,L,F,I,M,P,H,P,H,G,P,M,E,P,G
.M,P,S,P,S,T,P,M,M,P,D,P,K,E,F,T,M,F,D,J,D,
K,E,E,J,D,B,E,J,D,K,K,E,R,B,N,O,R,B,O,K,O,
T,R,U,A,A,R,N,U,T,R,U.

5. SONUÇ VE ÖNER LER

Üretim düzgünle tirme özellikle karma model montaj hatlarında, hat etrafındaki stokların düzgünle tirilmesi amacıyla, ürünlerde kullanılan parçaların sabit hızla tüketimini sa lamak amaçlı kullanılmaktadır. Bu makalede, üretim düzgünle tirme i yükünün dengelenmesi amacıyla üretim süreleri dikkate alınarak De i tirilmi Goal Chasing metodu önerilmi tir.

Bu çalı mada öncelikle karma model montaj hatlarına sahip olan bir otomotiv i letmesinde çizelgeleme ve sıralama problemleri ele alınmı tır. Çizelgeleme problemi üretim düzgünle tirme modellerini içeren üç çözüm yakla ımı önerilmi , i letmenin kısıtları dikkate alınarak “Tamsayılı Do rusal Karar Modeli”, “Düzgünle tirme Modeli” ve “Geriye Do ru Çizelgeleme Modeli” ile çizelgeleme yapılmı tır. Elde edilen alternatif çözümler, birbirleri ile çe itli ölçütlere göre kar ıla tırılmı tır. “Geriye Do ru Çizelgeleme Modeli” en az maliyetle ve geç kar ılıma olmaksızın çözüm üretmesi nedeniyle önerilmi tir. Sıralama problemi için ise, parça tüketim hızlarını düzgünle tirmeyi esas alan Goal Chasing metodu, üretim sürelerini düzgünle tirilecek ekilde de i tirilmi ve i ler bu metoda göre sıralanmı tır.

Hem i yükü hem de üretimdeki stokların düzgünle tirilmesi karma model üretim yapan hatlarda oldukça önem ta ımaktadır. Bu makalede, karma model montaj hatları için çizelgeleme ve sıralama yakla ımları önerilmi ve yöntemlerin sonuçları birbirleri ile kar ıla tırılmı tır. Karar verici kendi ölçütlerine göre bu yöntemlerden birisini seçebilir. Bundan sonraki çalı malarda, seçilen yöntemi göz önüne alan bir Karar Destek Sistemi olu turularak, önerilen bu yöntemler firmada uygulamaya alınabilir.



Çizelge 1. Geriye Do ru 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 Cothier 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 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.