

Birliktelik Kısıtları Altında Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Bir Çözüm Yaklaşımı Önerisi ve Bir İşletmede Uygulama

A Solution Approach to Assembly Line Balancing Problem With Task Related Constraints and an Application At An Enterprise

Serkan ALTUNTAŞ^{a*} ve A. Attila İŞLİER^b

^a Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Müh. Bölümü, 69000, Bayburt

^b Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Müh. Bölümü, 26480, Eskişehir

Geliş Tarihi/Received : 20.08.2009, Kabul Tarihi/Accepted : 02.11.2009

ÖZET

Montaj Hattı Dengelemesinde, -çeşitli nedenlerle- belli iş elemanlarının birbirinden ayrılmaması ve aynı istasyona atanması istenebilir. Bu tür problemler, 'Birliktelik Kısıtları Altında Montaj Hattı Dengeleme (BKAMHD) Problemi' olarak tanınmaktadır. Bu birliktelik kısıtı sayesinde, havaleli ürün imali, birlikte işlem görme gereği gibi özel isteklerden veya takım-kolaylık benzeri kaynakların ortak kullanımı düşüncesinden kaynaklanan 'konum ve bölge kısıtları' da karşılanabilmektedir. Bu tür hatlarda ayrıca, malzeme aktarma, takım ve kolaylık maliyetleri, yürüyüş mesafeleri, ayar süreleri ile tedarik süreleri de azalmaktadır. Uygulamada BKAMHD yapısındaki problemlerle yaygın olarak karşılaşılmamasına karşın, bunlar üzerinde yapılan çalışmaların klasik montaj hattı dengeleme problemi ile ilgili yayınlara göre daha az olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, özel konum kısıtları dolayısıyla-, bilinen Montaj Hattı Dengeleme yöntemlerinin uygulanmadığı büyük ölçekli bir montaj hattı için uygun bir hat dengeleme yöntemi geliştirmek ve bu yöntem ile söz konusu hattı dengelemek olmuştur. Çalışmanın başında, bu problemin çözümünde kullanılabilecek basit fakat etkili bir yol olarak tanınan 'En Büyük Aday' algoritmasında bazı değişiklikler yapılarak yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemin uyarlanabilmesi için de montaj işlemlerinin yapıldığı atölyede çok yoğun bir metot ve zaman etüdü çalışması yürütmek gerekmiştir. Bu çalışma sonucunda derlenen verilerin geliştirilen yönteme uyarlanması sonucunda türetilen seçenekler değerlendirilerek karar vericiye sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : *Hat dengeleme, Zaman etüdü, Yerleşim düzenlemesi.*

ABSTRACT

Occasionally certain tasks in an assembly line balancing problem are required to be kept together due to some specific reasons. These tasks are attained to the same work stations. Such problems are called as 'Assembly Line Balancing Problem with Task Related Constraints (ALBTRC)'. Certain situations like awkward product construction, simultaneous operations or specific requirements leading to zoning and positional constraints like utilization of common resources as tools, jigs and fixtures are implemented thanks to these supplementary constraints. Additionally, materials handling and tooling costs, distances, set-up and lead times are also reduced. Literature on ALBTRC seems quite rare compared to Classical Line Balancing papers, although ALBTRC is one of the common real life balancing problems. This study aimed to develop and implement a novel line balancing method for a manufacturing concern where known methods are impractical to employ due to some specific positional constraints. 'Largest Candidate Method' known as a simple but effective tool is modified for this purpose first. Then a thorough 'method and time study' is conducted to get the necessary data to utilize that method. As a result, more efficient alternatives are generated and presented to decision maker.

Keywords : *Line balancing, Time study, Layout arrangement.*

* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : serkanaltuntas14@hotmail.com (S. Altuntaş)

1. GİRİŞ

Günümüz iş dünyasında faaliyet gösteren işletmeler rekabet ortamının iyice kızışmasıyla, sahip oldukları kaynakları en etkin ve verimli bir biçimde kullanarak birim zamanda ürettikleri ürün miktarını arttırmak zorundadırlar. Rakiplerinden her zaman en az bir adım daha önde olma şartı, iş dünyasında ayakta kalmanın en önemli gerekliliği olmuştur. Bu gereklilik işletmeleri hızlı üretim yapmaya, standartlaştırılmış ve anlamlı bir üretim sürecine sahip olmaya zorlamıştır.

Üretim sistemine giren ham maddenin bir dönüşüm süreci sonunda, bitmiş ürün olarak, olabildiğince erken sistemi terk etmesi, elde edilen başarıyı arttıracaktır. Üretim sistemine giren ham maddenin sistemi olabildiğince erken terk edebilmesi ise üretim sistemi içinde kullanılan insan, makine ve malzemenin boş bekleme ve taşınma sürelerinin azaltılması ile ilgilidir. Bu verimsiz süreleri tamamen ortadan kaldıracak bir üretim tekniğinin mümkün olmayışı, bunları hiç değilse en düşük düzeyde tutacak üretim tekniklerinin işletmelerdeki mühendisler ve işçiler tarafından araştırılmasına yol açmıştır. Günümüzde, bunu sağlayacak en tanınmış araç, iyi dengelenmiş montaj hatları olmaktadır.

Malzemelerin, akış hattı boyunca işgücü ve donanımdan yararlanılarak iletildiği ve parça üzerindeki işlemlerin; aralarındaki -öncelik ilişkileri ve çevrim süresi gibi - kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturdukları istasyonların, yine bir hat boyunca sıralanmalarıyla oluşan sisteme, 'montaj hattı' adı verilmektedir (Erkut ve Baskak, 2003).

Montaj hattında montajı gerçekleştirilen ürün üzerindeki işlemler belli istasyonlarda (hat üzerinde bu işler için ayrılmış olan yerlerde) yapılır. Yapılacak işler, ne kadar küçük parçalara ayrılabilirse, dengeleme o kadar başarılı olacaktır. Gruplandırılarak istasyonlara atanan bu anlamlı iş parçalarına 'iş elemanı' denilmektedir. İş elemanların istasyonlara atanmasında bunlar arasındaki öncelik kısıtlarına, aynı istasyonda yer almak veya yer almamak gibi özel isteklere uyulur. Tüm istasyonlardaki iş yüklerinin elden geldiğince birbirine eşit olması veya süre farklılıklarının en küçüklenmesi ya da tüm işlemlerin belli bir çevrim süresi içinde tamamlanması gibi amaçlar gözetilir. Montaj hatlarının asıl amacı, sürekli bir üretim sağlayarak işgücü verimliliğini arttırmak ve işleri istasyonlara dengeli bir şekilde atayarak işin yapılışını disiplin altına almaktır. Üretim hızının arttırılması ve sağlıklı bir tasarımla işletmenin ekonomik sorunlarına çözüm getirmeye yönelik olmasından dolayı, montaj hattı dengeleme konusu, sanayide büyük önem taşır (Erkut ve Baskak, 2003).

İki taraflı montaj hatları, traktör kabini, kamyon, otomobil gibi büyük ölçekli ürünlerin montajının

yapıldığı ve işçinin ürüne her iki taraftan da yaklaşabilmesi gereken hatlardır. Bu hatların tasarımında, ürünün yapısındaki karmaşıklık, işlemlerin çokluğu ve birbirine bağımlılığı dolayısıyla birliktelik kısıtı da çok zaman göz önüne alınır. Ancak, birliktelik kısıtının dikkate alınması için, tasarlanacak hattın çift taraflı olması da şart değildir. Birliktelik kısıtı, bir arada yapılması gereken iş elemanlarının belli faaliyetler olarak gruplandırılarak ortak bir istasyona atanmasını sağlamaktadır. Böylece, havaleti parça, ortak işlem gibi özel istekler den veya takım kolaylık gibi kaynakların ortak kullanımı gereğinden kaynaklanan talepler karşılanabilmektedir. Bu hatlarda ayrıca, alan gereksinimi; malzeme aktarma maliyetleri, yürüyüş mesafeleri, ayar süreleri, takım ve kolaylık maliyetleri ile tedarik sürelerinin de azaldığı Bartholdi (1993), tarafından ifade edilmiştir.

Bu çalışma, bir üretim sistemindeki traktör kabini montaj hattında yürütülen faaliyetleri içermektedir. Bu hat için oluşturulacak istasyonlar, hattın her iki tarafında yer alabileceklerse de, çift taraflılık bir zorunluluk olmayacak, sadece çift taraflı hatlardaki birliktelik kısıtı dikkate alınacaktır. Çalışmanın başında, hatta yapılan işler iş elemanlarına ayrılmış ve bunlar için iş analiz formları oluşturulmuştur. Sonra bu iş elemanlarının süreleri ölçülmüş, süre ölçümü yapılırken alınan gözlemlerin yeterliliğini sınamak amacıyla % 95 ve % 90 güven seviyelerinde gözlem yeterlilik testleri yapılmış ve yeteri kadar gözlem verilerinden hareketle ilgili anlam seviyelerinde zaman etüdü formları oluşturulmuştur. İş elemanları arasındaki öncelik ilişkileriyle bir arada (aynı istasyonda) yapılması gereken ve burada 'faaliyet' olarak adlandırılan iş elemanı gruplanmalarının da belirlenmesiyle montaj hattı dengeleme çalışmasına girdi olacak verilerin derlenmesi tamamlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, özel konum kısıtları dolayısıyla, bilinen Montaj Hattı Dengeleme yöntemlerinin uygulanmadığı- büyük ölçekli bir montaj hattı için uygun bir hat dengeleme yöntemi geliştirmek ve bu yöntemi söz konusu hattın dengelenmesine uyarlayarak, literatürde ve uygulamada klasik montaj hatlarına göre daha az çalışılan BKAMHD için gerçek bir hayat problemini ele almak ve çözmektir.

Eldeki hattın kendine özgü kısıtları olması (aynı istasyonda yapılması zorunlu iş elemanları, konum kısıtları) literatürde kabul görmüş yöntemlerden birinin, uygulanmasını zorlaştırmıştır. Bu yüzden, literatürdeki En Büyük Aday Yöntemi ele alınıp geliştirilerek incelenen montaj hattına uyarlanabilir hale getirilmiştir. Bu sayede montaj hattının sezgisel olarak dengelenmesi yapılmıştır. Böylece karar vericinin amaçlarının en iyilenmesini sağlayacak 5 çözüm üretilmiş bunlardan 4'ü uygulanabilir çözüm olarak karar vericiye sunulmuştur.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde, yapılan literatür taraması verilmektedir. Üçüncü bölümde işletmedeki mevcut durum tanıtılmakta ve derlenen veriler sunulmaktadır. Dördüncü bölümde geliştirilen yöntem tanıtılmaktadır. Beşinci bölümde türetilen seçenekler sunularak bunların bir değerlendirilmesi yapılmakta ve son bölümde ise çalışmaya ilişkin sonuçlar tartışılmaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Montaj hattı dengeleme problemi analitik olarak ilk defa Helgeson v.d., (1954) tarafından; matematiksel olarak ise ilk defa Salveson (1955) tarafından çalışılmıştır. Bundan sonra montaj hatları konusunda çok yoğun çalışmalar olmuş ve bu çalışmalarda pek çok yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemler; En Büyük Aday Yöntemi, Konum Ağırlıklı Dengeleme Tekniği, Aşamalı Sıralamayla Çözüm, Öncelik Diyagramı ile Çözüm, COMSOAL (A Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines) yöntemi ile çözüm, Doğrusal Programlamayla çözüm ve Benzetim Teknikleri ile çözüm olarak sıralanabilir.

Yazın taramasında bir yandan çift taraflı montaj hattı dengeleme problemi konusunda yapılan çalışmalar diğer yandan da konum kısıtları gibi çeşitli kısıtları dikkate alarak montaj hattı dengelemesi yapan çalışmalar incelenmiştir.

Arcus (1966), yılında yaptığı çalışmada, çevrim süresinden büyük iş elemanları, iki işçi tarafından yapılması gerekli iş elemanları, bir kaynak tarafından özel bir iş istasyonunda yapılması gerekli iş elemanları ve birden fazla iş istasyonunda yapılması gibi zorunluluk bulunan iş elemanlarına sahip montaj hattını incelemiştir. Bu montaj hattını COMSOAL yönteminde küçük değişiklikler yaparak dengelemiştir.

Buxey (1974), montaj hattı dengeleme problemi için bir program geliştirmiştir. Geliştirdiği program; aynı istasyonda çalışan işçilerin, iş yapmak için gerekli olan konum değişikliklerin meydana getirebileceği gereksiz iş durumlarını, aynı istasyona atanması veya atanmaması gereken iş elemanlarının olduğu halleri ve iki işçi tarafından aynı istasyonda yapılması gerekli olan işlerin bulunduğu durumları dikkate almaktadır.

Johnson (1991), yılında yaptığı çalışmada, bazı iş elemanı gruplarının özel bir ekip tarafından yapılabildiği veya bunların özel bir ekibe atanmasının zorunlu olduğu montaj hatlarını incelemiştir. Bu problemin çözümü için özel ekibin kapasite kısıtını da dikkate alan yeni bir dal sınır algoritması önermiştir. Bartholdi (1993), çalışmasında çift taraflı montaj hattının dengelenmesi için etkileşimli bir bilgisayar programı geliştirmiş ve bu programın kullanımını tanıtmıştır.

Agnetis v.d. , (1995) yılında yaptıkları çalışmada, üretim hatlarının fiziksel yapısından kaynaklan kısıtlamaları incelemiştir. Bu kısıtlamaları, işlemler arasındaki uyumsuzluklar ve aynı istasyonda yapılması gerekli iş elemanları olarak tanımlamışlardır. Montaj hattının dengelenmesi için de, kısıtlamaları dikkate alan dinamik programlama algoritması önermişlerdir. Önerdikleri algoritma, aynı zamanda talepteki değişimleri de dikkate almaktadır.

Gökçen ve Erel (1997), yılındaki çalışmalarında karışık modelli montaj hatları için istasyon, konum, öncelik ilişkileri ve çevrim süresi kısıtlarını dikkate alan bir hedef programlama modeli önermişlerdir.

Park v.d., (1997) yılında yaptıkları çalışmada, öncelik ilişkileri diyagramında bazı iş elemanlarının iki veya daha fazla farklı önceliklere sahip olabileceği bir montaj hattı dengeleme problemini tanıtmıştır. Ele aldıkları problemde, öncelik ilişkileri, aynı istasyonda yer alması gerekli iş elemanları gibi kısıtların olduğunu düşünmüşler ve gerçek hayat problemlerinden hareketle istasyon sayısının bilindiği durumda çevrim süresini en küçükleyecek bir komşuluk arama tekniğine dayalı bir sezgisel yöntem önermişlerdir.

Miltenburg (1998), yılında yaptığı çalışmada U-tipi montaj hatlarını incelemiş ve bunların çözümü için dinamik programlamaya dayalı bir algoritma önermiştir. Önerdiği algoritma iki temel amaca hizmet etmektedir. Birincisi çevrim süresi bilindiğinde, çevrim süresini; öncelik ilişkileri, konum ve istasyon tipi kısıtlarının varlığı durumunda ise istasyon sayısını en küçüklemektir. İkincisi ise tam zamanında üretim felsefesi ile uyumlu olacak şekilde istasyonlardaki boş süreleri en küçüklemektir.

Kim v.d., (2000) yılındaki çalışmalarında çift taraflı montaj hatlarının dengelenmesi için bir genetik algoritma önermişlerdir. Bu hatlarda ayrıca, alan gereksinimi; malzeme aktarma maliyetleri, yürüyüş mesafeleri, ayar süreleri, takım ve kolaylık maliyetleri ile tedarik süreleri de azaltılmaktadır.

Carnahan v.d., (2001), montaj hatlarının dengelenmesi için iş elemanlarının süre ve öncelik ilişkileri ile işçi ve istasyon kısıtlarını dikkate alan ikisi genetik algoritma temeli olmak üzere üç adet sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Lee v.d., (2001), çift taraflı montaj hatları için 'grup atama' olarak adlandırdıkları yeni bir sezgisel yöntem önermişlerdir.

Vilarinho ve Simaria, (2002) yılında yaptıkları çalışmada, karışık modelli montaj hatları için paralel istasyonların varlığında konum kısıtlarını dikkate alan yeni bir matematiksel programlama modeli önermişlerdir. Önerdikleri model, verilen bir çevrim süresi için hattaki istasyon sayısını en küçüklerken diğer yandan da istasyonlar arası iş yükünü dengelemeyi amaçlamaktadır.

Sawik (2002), esnek montaj hatlarının dengelenmesi için monolitik ve hiyerarşik yaklaşım önermiştir. Önerdiği her iki yaklaşım, istasyonlardaki kapasite kısıtlarını ve çizelgeleme süresi kısıtını dikkate almaktadır.

Pastor v.d., (2002), 4 farklı ürün tipinin üretildiği ve toplam 400 iş elemanına sahip, konum ve kaynak kısıtlarının olduğu bir gerçek hayat probleminin çözümü için geliştirdiği sezgisel yöntemleri tanıtmıştır.

Ağpak ve Gökçen, (2005) yılındaki çalışmalarında klasik montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Önerdikleri yeni yaklaşım en az sayıda istasyon ve kaynak kullanarak montaj hattını dengelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmalarında, amaçlarını eniyileyecek 0-1 tamsayı programlama modeli önermişler ve bir matematiksel programlama yazılımı kullanarak bunun örnek bir uygulamasını yapmışlardır. Gökçen v.d., (2006) da, paralel montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için yeni bir yaklaşım ve matematiksel model önermektedir.

Vilarinho ve Simaria, (2006) yılında yaptıkları çalışmada, karışık modellenli montaj hatlarında paralel istasyonların varlığı durumundaki konum ve paralel istasyon kısıtlarını dikkate alan bir karınca koloni en iyileme algoritması önermişlerdir. Önerdikleri algoritma verilen bir çevrim süresi için hattaki operatör sayısını en küçükmektedir.

Bautista ve Pereira (2007), süre ve konum kısıtları altında montaj hattı dengeleme probleminin tanımını ve matematiksel modelini vermekte, bu problemin çözümü için de bir karınca koloni algoritması önermektedir.

Wu v.d., (2008) yılındaki çalışmalarında, çift taraflı montaj hattı dengeleme problemini bir dal sınır algoritmasıyla çözmüşlerdir. Baykasoğlu ve Dereli (2008), alan kısıtlı çift taraflı montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için karınca koloni temelli bir sezgisel yöntem önermektedir. Xiaofeng v.d., (2008) yılında yaptıkları çalışmada çift taraflı montaj hattı dengeleme probleminin çözümüne yönelik istasyonlara dayanan birerleme ile bir atama usulü önermiş, bunu da Hoffmann sezgiseliyle birleştirmişlerdir.

Boysen ve Flidner, (2008), paralel iş istasyonları, maliyet, birbirlerinin yerine yapılabilecek alternatif iş elemanlarının varlığı, konum kısıtları, olasılıklı iş elemanı süreleri ve U tipi montaj hattı kısıtlarının olduğu bir problemi ele almışlardır. Ele aldıkları montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için bir 'çok yönlü algoritma' önermişlerdir.

Baykasoğlu ve Dereli (2009), yılında yaptıkları çalışmada basit (düz) ve U-tipi montaj hatlarının dengelemesine yönelik sezgisel tabanlı bir karınca koloni eniyilemesi önermişlerdir. Benzer şekilde Sabuncuoğlu v.d., (2009) tarafından da U-tipi montaj hatlarının dengelemesine yönelik sezgisel tabanlı bir karınca koloni eniyilemesi önerilmiştir. Çerçioğlu v.d., (2009) yılında, paralel montaj hattı dengeleme probleminin tavlama benzetimi tabanlı bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Pastor ve Ferrer, (2009) yılında yaptıkları çalışma ile iki farklı montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için bir matematik program önermişlerdir. Simaria v.d., (2009), tam zamanında üretim felsefesinin hâkim olduğu esnek üretim sistemlerindeki U-tipi montaj hatlarını incelemektedir. Bu tip hatlardaki üretim hacminin ve ürün çeşitliliğinin herhangi bir zamanda değişebileceğinden bahseden çalışma, söz konusu hatlar için karınca koloni algoritması temelli bir sezgisel çözüm önermektedir. Boysen v.d., (2009) yılında yaptıkları çalışmada, karışık modellenli montaj hatları için bir başka yaklaşım önermişlerdir. Önerdikleri yaklaşım yüksek üretim çeşitliliği olan üretim sistemlerindeki hatların tek modellenli montaj hattına indirgenerek çözülmesi mantığına dayanmaktadır. Jolai v.d., (2009) yılındaki çalışmalarında montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için Veri Zarflama Analizini kullanan bir yaklaşım geliştirmişlerdir.

Özcan ve Toklu (2009a) çift taraflı montaj hatlarının dengelenmesi için bir Tabu Arama sezgiseli tanıtmakta, Özcan ve Toklu (2009b) de çift taraflı montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için birmatematiksel model önermektedir. Önerilen matematiksel model, verilen bir çevrim zamanı için; birincil amaç olarak hattın uzunluğunu ikincil amaç olarak istasyon sayısını en küçükmektedir. Bu model ayrıca bölgeleme kısıtlarını da dikkate almaktadır. Özcan ve Toklu (2009c) ise karışık modellenli çift taraflı montaj hatları için bir matematik model ve tavlama benzetimi geliştirmişlerdir. Kim v.d., (2009) yılında yazdıkları makalede çift taraflı montaj hatlarının dengelenmesi için bir matematik model ve genetik algoritma önermişlerdir. Simaria ve Vilarinho (2009) yılında yaptıkları çalışmada ilk olarak çift taraflı montaj hattı dengeleme probleminin matematik programlama modelini kurmuşlar ve ardından problemin çözümü için bir karınca koloni algoritması önermişlerdir.

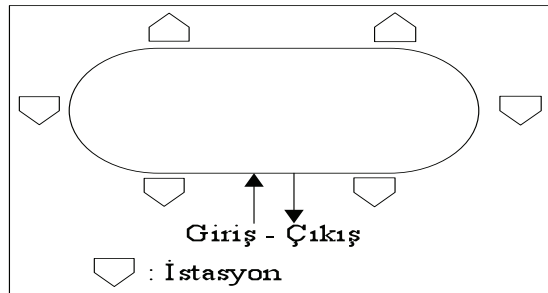
Boysen v.d. (2009) yılındaki çalışmalarında stoklama kısıtları altında karışık modellenli montaj hatlarını incelemişlerdir. İnceledikleri montaj hattı modelinin stoklama kısıtları altında çözümü için tam zamanında üretim felsefesiyle uyumlu dinamik programlama yaklaşımını ve benzetim tavlama sezgiselini önermişlerdir.

Scholl v.d., (2009) yılında yaptıkları çalışmada, Scholl v.d., (1997)'ye atıfla, montaj hattı dengeleme problemi için önerilen iki yönlü dal-sınır prosedürünü farklı türde atama kısıtlarının olduğu montaj hattı dengelemesinde kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada, atama kısıtlarının bulunduğu montaj hattı dengeleme probleminin matematiksel modelini vermişlerdir. İki yönlü dal-sınır prosedürünü çeşitli test problemlerinde kullanmışlar ve elde ettikleri çözüm sonuçlarının en iyi veya en iyiye yakın olduğunu görmüşlerdir.

3.MONTAJ HATTI DENGELEME ÇALIŞMASI

3. 1. Montaj Hattındaki Mevcut Durum

Çalışmanın yapıldığı fabrikada, işletmenin kurulmasıyla birlikte üretime geçmiş olan bir montaj bandı dengelenmemiş bir şekilde faaliyet göstermektedir. Banttaki mevcut durumda altı istasyon bulunmakta ve hatta görevli 12 işçi bu istasyonlarda işlem yapmaktadır. Hangi işçinin hangi istasyonda görevli olduğu ise açık değildir. Mevcut montaj hattına, bir operatör tarafından vinç ile kabin iskeleti indirilmekte ve indirildiği alanda, basık çember şeklinde bir yolu izleyen kabin iskeleti üzerinde çeşitli montaj işlemleri yapıldıktan sonra tamamlanan kabin banda indirildiği noktadan tekrar vinç ile geri çıkarılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Mevcut montaj bandı (dönüş, saat yönünün tersi yönde).

İşçiler banda inen kabin iskeleti üzerinde çeşitli montaj işleri yanında, bant çevresindeki istasyonların hazırlık işlemlerini de yapmaktadır. Büyük ve havaleli parçaların monte edildiği bu hatta çalışma koşulları, yer yer iki taraflı montajı gerektirmektedir. İstasyonlar montaj hattının dış çevresinde bulunmaktadır. Bu dış çevredeki tampon stok alanlarından gerekli parçaları alan işçiler, özellikle ürün yapısının zorladığı, 'bazı işlemleri bir arada, aynı yerde yapma zorunluluğu' dolayısıyla hattın hem iç hem de dış kısmında çalışabilmektedirler.

Her bir işçi kabin iskeletinin hangi istasyonda olduğuna bakmaksızın işi yapabileceği ilk istasyona gidip, oradaki kabin üzerinde işlem yapmaktadır. Dolayısıyla işçiler sırası gelse de gelmese de kendi yaptıkları işlerin, herhangi bir kabinde yapılmamış

olduğunu görünce o kabin üzerinde işlem yapmaktadırlar. Bir anlamda kabinler değil de işçiler bant etrafında dönmektedir.

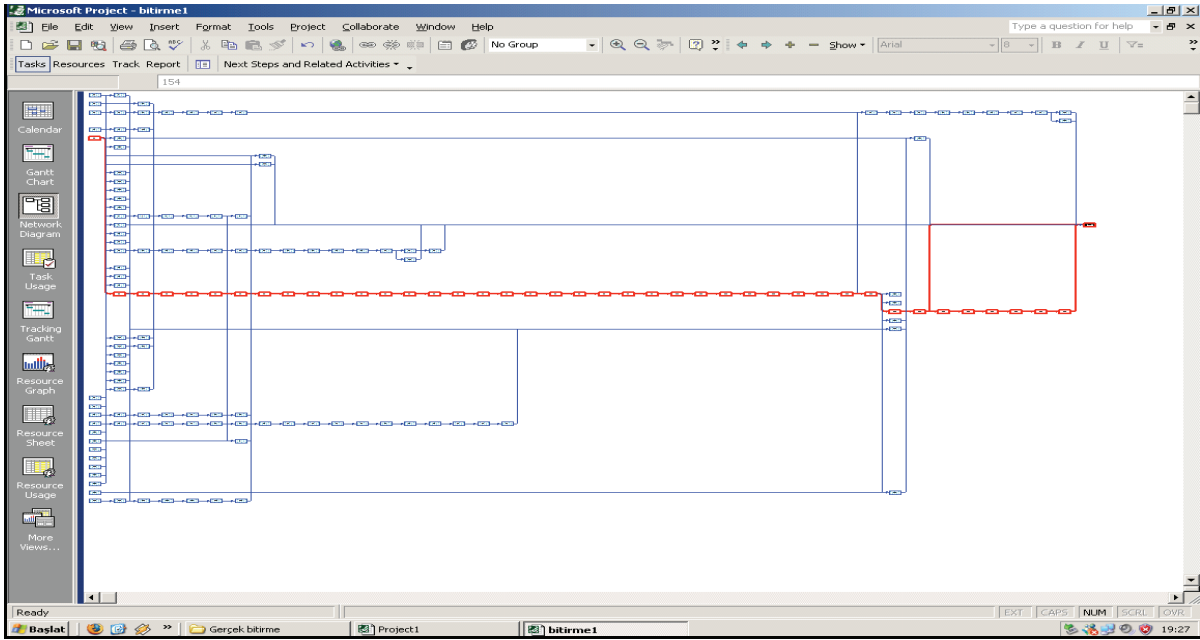
Haftada 5 gün ve günde 8 saat çalışmakta, mevcut montaj bandındaki tüm kaynakların kullanılmasıyla gün sonunda, ortalama 6 veya 7 adet traktör kabininin montajı tamamlanmaktadır.

Standart sürelerin belli olmayışı nedeniyle üretim planlama bölümü tarafından gerçekleştirilen planlar da çoğu kez tutmamaktadır. Taleplerde meydana gelen geç teslimat ise, işletmeye prestij kaybı olarak dönmektedir. Mevcut montaj bandında yürütülen işler için bir metod etüdü yapılmamış olduğundan, bu faaliyetler tanımlanıp standartlaştırılmamıştır. Doğal olarak standartlaştırılmamış işlerin zaman ölçümü de yapılmamıştır ve işçilerin hangi parçanın montajını ne kadar sürede yapacağı da bilinmemektedir.

3. 2. Montaj Bandında Yapılan Çalışma

Montaj bandında yürütülen faaliyetler tanımlı iken; bu faaliyetleri oluşturan iş elemanlarının ve bunların süreleri ile yine bunlar arasındaki öncelik ilişkilerinin henüz belirlenmemiş olması, öncelikle bir iş etüdü çalışması yapılmasını gerektirmiştir. Dolayısıyla çalışmaya öncelikle iş elemanlarının belirlenmesiyle başlanmış ve bunların sayısı 162 olarak tespit edilmiştir. İş elemanlarının isimleriyle bunların süreleri EK 1'de yer almaktadır. İş elemanları arasındaki öncelik ilişkileri bazı iş elemanları için esneklik, Bu esneklik, işçilerin montaj esnasında, kendince uygun olan olası gruplama seçeneklerinden birini tercih edebilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu durumda birbirlerine alternatif olabilecek birden fazla öncelik ilişkileri diyagramının çizilmesi söz konusudur. Ancak, bu çalışma kapsamında dengeleme yapılan montaj hattı için birbirleri arasında montaj esnasında öncelikleri değişmesi mümkün olan iş elemanlarının olmadığı varsayılmıştır. Dolayısı ile alternatif öncelik ilişkileri diyagramlarından hareketle yapılabilecek montaj dengelemelerinden elde edilecek performans göstergelerindeki değerlerin ne olacağı ile ilgilenilmemiştir.

Montaj hattında gerçekleştirilen metod ve zaman etüdünde ele alınan 'Arka Camın Montajı' için hazırlanan, zaman etüdü formunun arka yüzü EK 2'de, ön yüzü EK 3'de; İş analiz Formu EK 4'de, Kişisel dinlenme payları tablosu da, EK 5'de verilmiştir. Montaj hattına ait iş elemanlarının çokluğu, iş elemanları arasındaki öncelik ilişkilerinin gösterilmesini zorlaştırdığından öncelik diyagramı MS Project'de düzenlenmiş ve bunun ekran çıktısı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Öncelik ilişkileri diyagramı.

4. GELİŞTİRİLMİŞ EN BÜYÜK ADAY YÖNTEMİ

Bu çalışmada geliştirilen ve ele alınan problemin çözümünde kullanılan yöntem, sezgisel yöntemlerin çoğunda olduğu gibi, 'önce iş elemanlarını bir öncelik sırasına göre dizmekte, sonra da, sırası gelen elemanı -şartları sağlıyorsa-, sıradaki istasyona atamaktadır'. En büyük aday yönteminde, atanmak için sağlanması gereken şartlar sadece:

- İş elemanının tüm öncüllerinin atanmış bulunması ve
- Bu iş elemanının süresi ile atanacağı istasyona halen atanmış bulunan iş elemanlarının sürelerinin genel toplamının, çevrim süresini aşmamasıdır.

Ele alınan problemde ise, bir üçüncü şart olarak, 'belli faaliyetleri oluşturan iş elemanlarının da birlikte atanmaları gereği' bulunmaktadır. Bunu sağlayabilmek için:

- Sıralama adımında, her faaliyet içindeki elemanlar büyükten küçüğe dizilmektedir. Ana sıralamada da, önce faaliyetler (iç sıralamaları bozulmaksızın) toplam sürelerine göre dizilip, bunların arkasında da hiçbir faaliyete dâhil olmayan bağımsız elemanlar, yine büyükten küçüğe, eklenmektedir.
- Atama söz konusu olunca da, faaliyetler (ilgili eleman grupları) bütün olarak atanmaya çalışılmakta; faaliyetin toplam süresi, istasyona sığmayacak kadar uzunsa, artan kısmının da hemen bir sonraki istasyona atanması

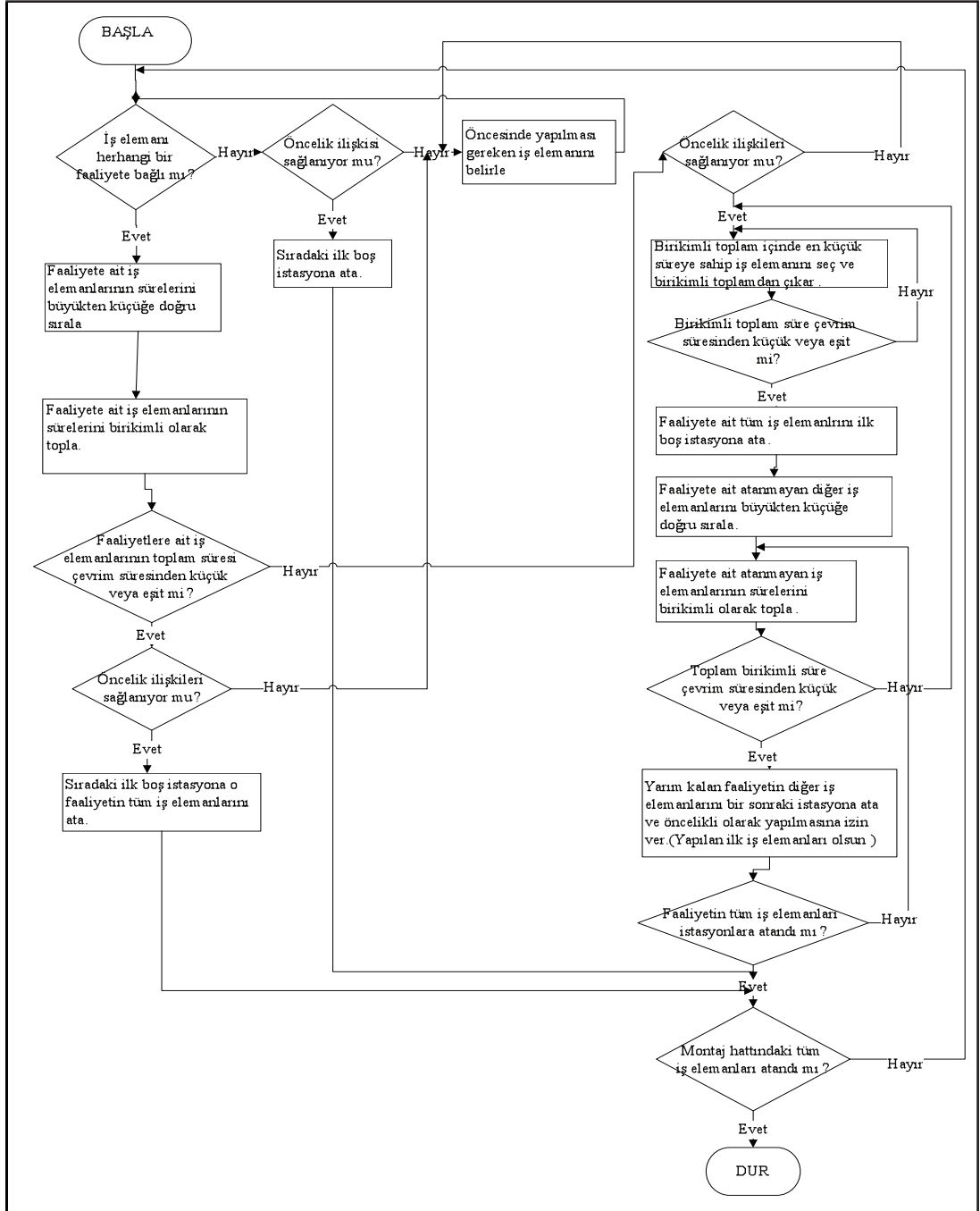
sağlanmaktadır. Böylelikle, bir faaliyete ait iş elemanlarının elden geldiğince yakın yerleştirilmesi sağlanmaktadır.

- Tüm kısıtlar bu şekilde yerine getirilirken, sıralama adımında yapılan sıralama sayesinde de uzun süreli işlerin öncelikle yerleştirilmesi, böylece geride kalan boş yerlere -yerleştirilmesi daha kolay olan- kısa süreli işlemlerin atanarak boşlukların, dolayısıyla da dengeleme gecikmesinin azaltılması sağlanmaktadır (Algoritmanın akış şeması Şekil 3'de verilmektedir).

5. ÇÖZÜM SEÇENEKLERİ VE DEĞERLENDİRME

Montaj hattına ait iş elemanlarının çokluğu, bir montaj hattının dengelenmesindeki belki de en büyük zorluktur. Bu çalışmadaki bir başka zorluk kaynağı da konum kısıtı içeren faaliyetler olmuştur. Bu faaliyetler 'aynı zamanda aynı istasyona atanması gereken' iş elemanı kümeleridir. (Arka cam hazırlığı, Üst tavan döşeme hazırlığı, İç kapama montajı, Kapı hazırlığı, Kapı camları hazırlığı, Kabin tavanını hazırlığı, Elektrik kontrolü ve son işlemler, Sol kapı cam hazırlığı, Sol kapı hazırlığı gibi...). Bunların dışında kabin tavanının hazırlığı faaliyeti bölünebilir bir faaliyettir. Bu bölünebilirlik sayesinde esnek bir hat oluşturma şansı doğmuştur.

Yapılan çalışmada her biri ayrı bir amacı gerçekleştirmek için beş çözüm seçeneği üretilmiştir. Bu çözümlerden ilki 'en büyük aday' yöntemini olduğu şekliyle kullanan bir bilgisayar programı ile bulunmuştur. Bu yöntemle konum kısıtları bilgisayar ortamında tanımlanmadığı için, çözüm sadece iş



Şekil 3. Geliştirilen yönteme ait akış algoritması.

elemanlarının süre ve öncelik ilişkileri dikkate alınarak ve en büyük iş elemanının süresi, çevrim süresi kabul edilerek elde edilmiştir. Burada çevrim süresini 26,1 dakika alıp iş elemanları atanınca dengeleme gecikmesi % 3.718 bulunmuştur. Bu çözümde toplam 25 istasyon kurulmaktadır. On iki işçinin çalıştığı mevcut durumda, 6 istasyon ile faaliyet gösteren montaj hattına 19 ek istasyon kurulması durumunda ya bir işçinin birden fazla istasyonda görev alma zorunluluğu (Uzman işçiler) ya da montaj hattına ek işçi görevlendirilmesi gerekmektedir. Montaj hattına yeni istasyonlar kurulması durumunda iki tür maliyet ortaya çıkmaktadır. Birincisi, yeni istasyonların

kurulma maliyetidir ki bu maliyet hattın yeniden tasarımı ve düzenlenmesi gereğinden kaynaklanır. İkincisi ise ek personel maliyetidir ki bu da, ya bir işçinin birden fazla istasyonda görev alacak şekilde eğitilerek uzmanlaştırılması ya da montaj hattına yeni işçi görevlendirilmesi anlamına gelir. İlk amacı gerçekleştiren bu çözüm, diğer dört çözüm içerisinde çevrim süresi en düşük olanıdır. Dolayısıyla bir günde üretilen en fazla kabin miktarı $(480/26.1=18)$ adet, bu çözümde elde edilmiştir. Ancak bu çözümde kısıtlar tariflenemediğinden uygulanabilir bir çözüm olarak karar vericiye sunulmamıştır. Şekil 4'de ilk çözüme ilişkin hat bilgileri verilmektedir.

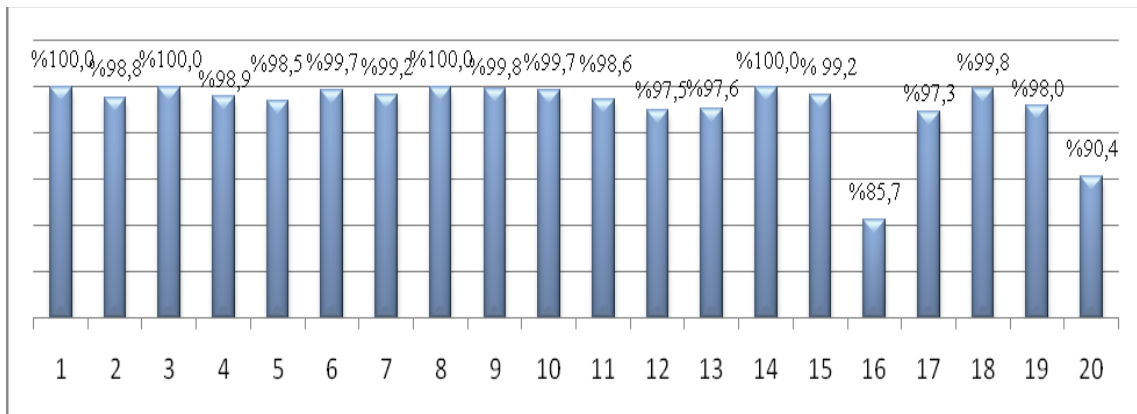
Montaj hattının dengelenmesinde diğer 4 çözümün hesaplanması, geliştirilen algoritmaya göre Microsoft Office Excel ortamında yapılmıştır. Her bir çözüm, belirlenen amaçlara hizmet edecek şekilde bulunmuştur. Çözümlere ait başarı ölçütleri olarak, Çevrim Süresinin dakika cinsinden değeri (ÇS), Dengeleme Gecikmesinin % değeri (DG), Düzensizlik İndeksi (Dİ), Hat Etkinliğinin % değeri (HE) ve İstasyon Sayıları (İS) alınmıştır. Her bir çözüm seçeneğinin hedeflediği amaçlar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Hat Bilgileri	
Dcsya Adı	Etirme.mhd
Çevrim Süresi	26.1
İş Sayısı	162
İstasyon Sayısı	25
Denge Kaybı	%3.718
Toplam Süre	628.24
Atanmamış İşlem Sayısı	0
En Büyük İşlem Süresi	26.1
Açıklama :	
Tamam	

Şekil 4. 1. Hat bilgileri ve çözüm.

Tablo 1. Çözüm seçeneklerinin amaçları.

Çözüm	Amaçlar
1	En büyük süreye sahip iş elemanını süresini, çevrim süresi kabul edip bilgisayar programıyla çözmek (Konum kısıtları tariflenemedi).
2	Günlük 15 Kabin iskeletinin montajını gerçekleştirebilmek. (Talebi karşılamak).
3	Tüm iş elemanları ile faaliyetlerden süresi en büyük olanının süresini çevrim süresi kabul edip, çözüme ulaşmak (En büyük süreye sahip faaliyetin bölünemediği varsayılmıştır).
4	Faaliyetlerin toplam iş elemanları süreleri, ortalama 40 dakika civarında gezindiği için, tüm faaliyetlere ait iş elemanlarının olabildiğince aynı istasyonda yapılmasını sağlamak (Faaliyetleri bölmeden istasyonlara atamak).
5	Hatta bulunan mevcut 12 işçi ile ve bu 12 işçinin her biri bir istasyonda çalışacak şekilde çevrim süresini belirlemek ve 12 istasyona atamaları yapmak (12 işçi ile en iyi istasyon atamaları yapılmaya çalışıldı).Her bir işçinin bir istasyonda çalışması amaçlandı.



Şekil 5. İkinci Çözüm için kurulan istasyonların doluluk oranları.

Dengelenen hat için elde edilen sonuçlar Tablo 2'de toplu olarak verilmektedir.

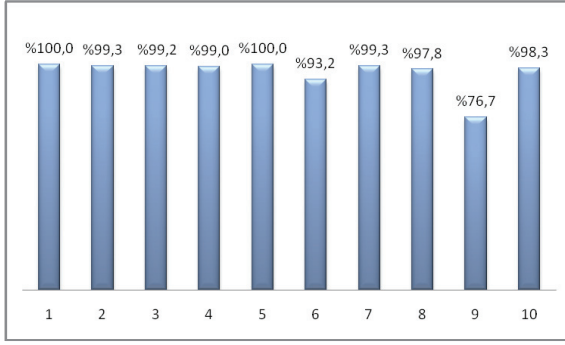
Tablo 2. Sonuçlar.

Sonuçlar					
Çözüm	ÇS (dk)	DG (%)	Dİ	HE (%)	İS
1	26.10	3.72		96.28	25
2	32.00	1.84	5.27	98.16	20
3	69.81	10.00	41.94	90.00	10
4	40.00	1.84	0.21	98.16	16
5	57	8.15	30.70	91.85	12

-: uygulanamaz, +: uygulanabilir.

İkinci çözüm, taleplerin dikkate alınması halinde, üretim planlama bölümünün hedef değeri olan günde 15 adet kabin üretiminin sağlanması durumu için yapılmıştır. Buradaki amaç talepleri karşılamaktır. Dengeleme sonunda, 32 dakikalık çevrim süresi ile 20 istasyon kurulmuş ve çözüm seçenekleri arasında % 98.16'lık en yüksek hat etkinliği yanında % 1.84'lük en düşük dengeleme gecikmesine sahip çözüm olmuştur. Bu çözüm, kurulan istasyon sayısını (20) tutturabilmek için, mevcut istasyon sayısına (6) ek olarak 14 adet yeni istasyon kurulmasını gerektirmektedir. Bu durumda birinci çözüm için yapılan yorum bu çözüm için de geçerlidir. İkinci çözümde belirlenen 20 istasyonun doluluk oranları Şekil 5'de verilmiştir. Şekil 5'e göre en düşük doluluk oranı % 85,7 ile 16. istasyon ve % 90,4 doluluk oranı ile 20.istasyona ait olmuştur.

Üçüncü çözüm, montaj hattında bulunan en büyük süreye sahip faaliyetin süresi, çevrim süresi kabul edilerek yapılmıştır. Bu çözüm için kurulan 10 adet istasyonun doluluk oranları Şekil 6'da verilmiştir.

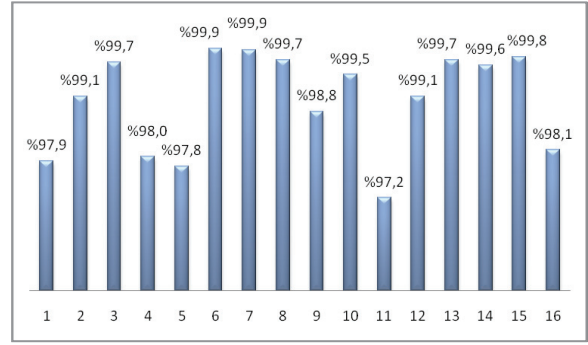


Şekil 6. Üçüncü çözüm için kurulan istasyonların doluluk oranları.

Üçüncü çözüm için en büyük süreye sahip faaliyet "Klima Tavanının Hazırlığı" faaliyetidir. Bu faaliyet Ek-1'deki 77 ve 94 numaralı iş elemanları ile bu sayılar arasındaki tüm iş elemanlarını kapsayan faaliyettir. "Klima Tavanının Hazırlığı" faaliyeti 18 adet iş elemanından oluşmaktadır. Bu faaliyeti oluşturan iş elemanlarının toplam süresi 69.81 dakikadır. Dolayısıyla üçüncü çözüme ait istasyonların oluşturulması için kullanılan çevrim süresi 69.81 dakikadır. İlk istasyon, 'Klima Tavanının Hazırlığı' faaliyetinin tüm iş elemanları atanarak oluşturulmuştur. Diğer istasyonlar ise benzer şekilde geliştirilen algoritma temel alınarak, faaliyetlere ait iş elemanlarını mümkün olduğu ölçüde bölmeden aynı istasyonda atanmasıyla oluşturulmuştur. Bu çözümün benimsenmesi durumunda günlük 7 adet kabin montajının yapılabileceği beklenmektedir.

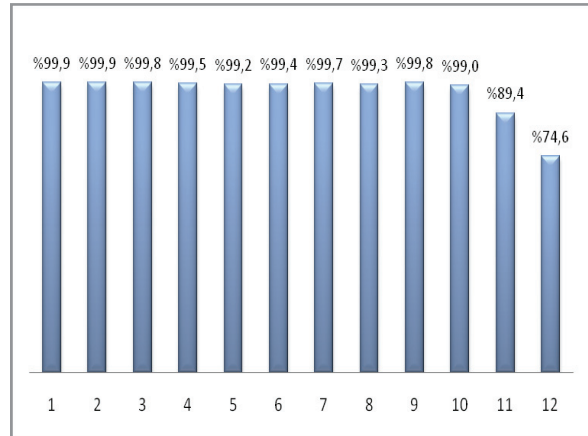
Her faaliyete ait iş elemanı süreleri toplamı ortalama 40 dakika civarındadır. Dördüncü çözümde amaç, çevrim süresini 40 dakika kabul ederek faaliyetlerin iş istasyonları arasında bölünmesine engel olmak ve aynı faaliyeti oluşturan iş elemanlarının mümkün olduğu ölçüde aynı istasyonda yapılmasının sağlamaktır. Dördüncü çözüm ile ikinci çözümün çevrim süreleri ve hizmet ettikleri amaçlar birbirinden farklı olmalarına rağmen dengeleme gecikmeleri ve buna bağlı olarak hat etkinlikleri (% 98,16) aynı çıkmıştır. Fakat bu iki çözüme ait istasyon sayıları farklıdır. Dördüncü çözümde 16 istasyon kurulmaktadır. İş elemanlarının istasyonlara atanması sonrasında istasyonlardaki iş yükü farklılıkları düzgünlük indeksi ile ölçülmekte ve bu indeksin olabildiğince küçük olması istenmektedir. Düzgünlük indeksi açısından da, en iyi sonuç 0,21 değeri ile bu çözümde elde edilmiştir. Bu çözüme ait istasyonların doluluk oranları Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 7'de görüldüğü gibi, 40 dakikalık çevrim süresi esas alınarak oluşturulan 16 istasyonun hemen hemen tüm iş elemanları 39 dakika ile 40 dakika arasında doluluk değerine sahiptir. Dolayısı ile istasyonlardaki iş yükleri birbirlerine çok yakındır. Bu çözümün benimsenmesi durumunda günde ortalama 12 kabinin montajının yapılması beklenmektedir.



Şekil 7. Dördüncü çözüm için kurulan istasyonların doluluk oranları.

Beşinci çözüm mevcut durumda istasyonda görevli işçi kısıtı dikkate alınarak yapılmıştır. Mevcut 12 işçinin her birinin bir istasyonda çalıştırılması amaçlanmıştır. Çevrim süresinin 57 dakika alınmasıyla 12 adet istasyon kurulmuştur. Bu çözümde % 91.85'lik bir hat etkinliğine ulaşılmıştır. Bu çözümün benimsenmesi durumunda günde ortalama 9 kabinin montajının yapılması beklenmektedir. Bu çözümde kurulan 12 istasyona ait doluluk oranları Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Beşinci çözüm için kurulan istasyonların doluluk oranları.

6. SONUÇ

Bu makalede 'Birliktelik Kısıtları Altında Montaj Hattı Dengeleme (BKAMHD) Problemi' incelenmiş ve bir gerçek hayat probleminden hareketle montaj hattı dengeleme çalışması yapılmıştır. BKAMHD problemlerinin çözümünde, bir arada yapılması gereken iş elemanlarının belli faaliyetler olarak gruplandırılarak ortak bir istasyona atanması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, özel konum kısıtları dolayısıyla, -bilinen Montaj Hattı Dengeleme yöntemlerinin uygulanamadığı- büyük ölçekli bir montaj hattı için uygun bir hat dengeleme yöntemi geliştirmek ve bu yöntem ile söz konusu hattı dengelemektir. Çalışmanın başında, bu problemin çözümü için basit fakat etkili bir yol olarak bilinen 'En Büyük Aday' algoritmasında bazı değişiklikler yapılarak yeni bir

yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemin uyarlanabilmesi için de montaj işlemlerinin yapıldığı atölyede çok yoğun bir metot ve zaman etüdü çalışması yürütmek gerekmiştir. Yapılan metot ve zaman etüdü sonunda hatta 162 adet iş elemanı tespit edilmiş, bunların öncelik ilişkileri çıkarılarak süreleri ölçülmüştür. Bu çalışma sonucunda derlenen verilerden hareketle 5 adet çözüm üretilmiştir. Birinci çözüm 'En Büyük Aday' yöntemini olduğu şekliyle kullanan bir bilgisayar programı ile bulunmuştur. Bu çözümde konum kısıtları bilgisayar ortamında tanımlanamadığından uygulanabilir çözüm olarak karar vericiye sunulmamıştır.

İkinci çözüm, taleplerin dikkate alınmasıyla yapılmıştır. Üçüncü çözüm, en büyük faaliyetin süresini çevrim süresi kabul edilerek yapılmıştır. Dördüncü çözüm, faaliyetlerin iş istasyonları arasında bölünmemesini amaçlamıştır. Son çözüm

ise işçi sayısı kısıtının dikkate alınmasıyla yapılmıştır. Tüm çözüm seçeneklerinde mevcut durumda bulunan istasyon sayısına ek istasyonlar kurmak gerekmiştir. Ek istasyon kurulması bir yandan işletmeye maliyet getirirken diğer yandan da, o istasyonlarda çalışacak mevcut işçi dışında ek işçi gerektirecektir. Özellikle uygulanabilir bulunan 2, 4 ve 5 numaralı çözüm seçeneklerinin sağlayabileceği günlük kabin montaj sayısı, mevcut durumdakinin çok üstündedir. Bu da standartlaştırılmış, anlamlı ve akıcı üretim sistemlerine sahip olmanın sağlayacağı kazancı göstermektedir. Çalışma sonunda bulunan uygulanabilir dört çözüm seçeneğinden herhangi biri -özellikle az sayıda istasyon içerdiğinden işçiye gerek duyurmayı ve hatta mevcut olan 12 işçiden sadece 10'u ile yetinmesi nedeniyle, üçüncü çözümün- dikkatli bir şekilde uygulandığında başarılı sonuçlar vereceği beklenmektedir.

7. EKLER

Ek 1. MF 3000 serisi traktör kabini için iş elemanları.

MF 3000 SERİSİ TRAKTÖR KABİNİNİN İŞ ELEMANLARI				
	NO	ÖNCELİK	İŞ ELEMANINI ADI	SÜRE (dk)
Arka cam hazırlığı	1	47	Arka cam demirini takma	2.65
	2	1	Arka cam menteşesini takma	1.48
	3	2	Arka cam kollarını takma	1.66
	4	3	Sol taraf amortisörünü takma	0.57
	5	4	Sağ taraf amortisörünü takma	0.46
	6	5	Dolgu lastiği takma	0.61
	7	131,5	Arka camı kabin monte etme	4.6
	8	47	Gözetleme camını kabine monte etme	1.95
	9	11,47	Ön camı kabine monte etme	16.09
	10	12,13,14	Ön göğüs lastiğini monte etme	4.10
	11	-	Camın etrafını bant ile kaplama	4.14
	12	-	Ön göğüs lastiğine yapıştırıcı sürme	1.56
	13	48,47	Sol dizlik camı monte etme	8.74
	14	49,47	Sağ dizlik camı monte etme	8.64
Üst tavan döşeme haz.	15	-	Klima panelini takma	6.88
	16	15	Üst tavana hoparlörün montajı	5.53
	17	16	İç aydınlatma lambasının montajı(2 adet)	3.39
	18	17	Telli menfez takma(4 adet)	1.76
	19	18	Klima anahtar çerçevesini takma	1.28
	20	19	Teyp kızığını takma	1.24
	21	20	Döşeme kenarlarını kesme	3.32
Üst tavan döşeme montajı	22	21,107	Döşeme tutulacak yerlere kilavuz çekme	3.46
	23	22	Tavan içi döşemesini kabine yerleştirme	5.63
	24	23	Tavan iç döşemesine telli menfez takma	1.40
	25	24	Sigorta kapağını monte etme	4.40
	26	25	Dübel deliklerine delme	3.22
	27	26	İç aydınlatma lambasının soketini takma	1.00
	28	27	Üst tavan döşemesini kabine monte etme	4.69
	29	28	Güneşliği kabine monte etme	2.16
İç kaplama montajı	30	47	Yan cam menteşelerini takma	4.20
	31	30	İzolasyon yapıştırıcılı süngerini kabine yapıştırma	2.42
	32	31	Arka cam takozunu takma	1.57
	33	32	Debriyaj stop elini takma	0.45
	34	33	İç kapama platformunu monte etme	9.70
	35	34	"T-L" vites kolunu takma	2.16
	36	35	Şanzıman kapama üst sacını monte etme	2.96
	37	36	Orta kapama paspasını takma	1.17
	38	37	Arka kapama deliklerine dübel çakma	1.16
	39	38	Şişme yapan yerleri yapıştırıcı ile yapıştırma	0.62
	40	39	İç çamurluk kapamasını takma	5.59
	41	40	Şanzıman kapamasını kabine monte etme	4.26
	42	41	İlave oturakları kabine monte etme	5.28
	43	42	İç kapama döşemesine kül tablası takma	0.52
44	47	Elbise askılığını takma	0.36	
Y*	45	-	Sağ ve sol kanatları birleştirme	3.88
	46	45,47	Yan oturakların montajı	3.15
	47	-	Kabin iskeletini bantta bindirme	3.91
	48	-	Sol dizlik cam hazırlığı	2.50
	49	-	Sağ dizlik cam hazırlığı	2.52
Kapı haz.	50	56	Sağ "K" lastiğine mastik çekme	0.84
	51	50	Sağ kapı kolunu takma	6.31
	52	51	Sağ kilit kolunu takma	2.64
	53	52	Sağ kapı menteşelerini takma	10.78
M*	54	-	Sağ kapı iskeletini aparata bağlama	0.68
	55	54	Sağ kapı alt ve üst camlarını hazırlama	3.50
	56	55	Sağ kapı iskeletin camları takma	15.07
	57	140,47	Sağ yan cam montajı	3.61
	58	139,47	Sol yan cam montajı	3.64

Ek 1'in devamı.

Klima montajı	59	47	Sol arka bloktan su tahliye hortumunu kabine geçirme	1.59
	60	59	Sağ ön bloktan su tahliye hortumunu kabine geçirme	1.62
	61	60	Sol ön bloktan klima bağlantı kablosunu geçirme	1.52
	62	61	Sol ön bloktan gaz hortumunu geçirme (2 adet)	2.67
	63	62	Sağ ön bloktan sıcak su vana hortumlarını geçirme(2adet)	1.82
	64	63	Yıldızlı uçla klima sigortasına delik açma	1.91
	65	64	Klima sigorta kablosunu kabine monte etme	0.72
	66	65	Üst elektrik tesisat bağlantılarını yapma	4.46
	67	66	Silecek motorunun kablo montajını yapma	2.30
	68	67	Klimayı kabine monte etme	4.30
	69	68	Klimanın termik kablosunu monte etme	1.89
	70	69	Su hortumunun fiskiyesini ve kablosunu takma	0.81
	71	70	Klimaya hortum bağlantılarını yapma	7.30
	72	71	Klima ile sigortayı elektrik kablosu ile bağlama	3.20
	73	72	Gaz hortumu ile klimayı ziftli bant ile örtme	2.90
	74	73	Su tahliye hortumlarına dudak mentilli takma	1.70
75	74	Hava hortumunu klimaya bağlama	4.68	
76	75	Hava hortum kenarlarını bandajlama	1.76	
Kabin tavanın hazırlığı	77	-	Kabin tavanına izolasyon yapıştırma	0.62
	78	77	Arka vakumu (kaşı) monte etme	5.62
	79	78	Ön vakumu (kaşı) monte etme	5.02
	80	79	Arka ve ön vakuma (kaşı) perçin takma	5.16
	81	80	Tavan iskeletine anten takma	1.08
	82	81	Aydınlatma farlarını takma (4 adet)	18.75
	83	82	Aydınlatma farlarının kablolarına soket takma	1.92
	84	83	Elektrik tesisatını yapışkan kroşeyle tavana yapıştırma	2.50
	85	84	Aydınlatma farlarının kenarlarına mas tik çekme	1.23
	86	85	Tavan kapak fitillerin takma	2.47
	87	86	Fitillere dolgu lastiği geçirme	1.14
	88	87	Dolgu lastiği geçirilen yerleri yapıştırma	0.62
	89	88	Dolgu lastiği geçirilen yerlere mas tik çekme	1.32
	90	89	Kaşları üstten vida ile tutturma	2.47
	91	90	Servis kapağını tavana monte etme	7.34
	92	91	Sarraf kapağını tavana monte etme	9.39
	93	92	Vakum (Kaş) kenarlarına mas tik çekme	1.64
	94	93	Vakum (kaş) kenarlarını temizleme sabunuyla silme	1.52
Üst ve alt tesisat montajı	95	76	Kabin sol sinyal lambasını monte etme	3.93
	96	95	Kabin sağ sinyal lambasını monte etme	2.74
	97	96	Üst tesisatı döşeme	10.05
	98	97	Bacon lambasının sacını takma	3.92
	99	98	Silecek motoru elektrikli bidon kablosunu monte etme	1.14
	100	99	Su fiskiyesinin memesine su hortumunu monte etme	1.18
	101	100	Su gromet lastiğini takma (3 adet)	1.22
	102	101	Silecek motoru su bidonu takma	4.96
	103	102	"L" sacını kabine monte etme	8.60
	104	103	Plaka lambası ve sol stop lamba kablolarını monte etme	0.61
	105	104	Sağ stop lamba kablolarını monte etme	1.62
	106	105	Sol sinyal kablosunu izole ve soketini takma	1.68
	107	106	Kabin şase kablosunu monte etme	0.60
	108	107	Su bidonunun içine su koyma	0.50
	109	47	Sağ çamurluk montajı	5.26
	110	47	Sol çamurluk montajı	5.18
	111	109	Sağ çamurluk desteği monte etme	2.48
	112	110	Sol çamurluk desteği monte etme	2.42
	113	47	Sağ ayna montajı	3.80
	114	47	Sol ayna montajı	3.82
	115	29	İç ayna montajı	1.51
	116	41	Koltuğun montajı	2.72
	117	59,94,108,123	Tavanın sıkılması	26.10
	118	122,123,124	Sileceğin montajı	5.20
	119	47	Bacon lambasının montajı	1.44
	120	121,47	E-L-C kolu montajı	1.54
	121	-	E-L-C kolunun hazırlığı	1.01

Ek 1'in devamı.

	122	108	Hava filtresinin montajı	1.54
	123	47	Tavan çerçeve fitilini montajı	6.44
	124	47	Silgi motorunun çevre lastiği montajı	3.88
	125	47	Yan oturakların montajı	5.26
	126	123	Sarraf çerçevesinin montajı	6.52
	127	53,47	Sağ kapı montajı	18.49
	128	161,47	Sol kapı montajı	18.54
	129	108	Sağ yan direk vakumunun montajı	2.80
	130	108	Sol yan direk vakumunun montajı	2.84
	131	-	Arka cam fitili takma	6.14
	132	47	Gaz pedalının montajı	2.85
	133	47	Tip onay etiketi montajı	0.42
	134	47	Kırmızı madeni etiketin montajı	0.41
	135	-	El firenin hazırlanması	2.09
	136	-	Kabine mas tik çekme	19.27
	137	109, 110,46	Sıkma somunların sıkılması	3.52
	138	29	İç dikiz aynasının montajı	3.18
	139	-	Sağ yan cam fitilinin çakılması	3.86
	140	-	Sol yan cam fitilinin çakılması	3.89
	141	-	Hassasiyet kontrol çubuğunun hazırlanması	0.60
	142	141,47	Hassasiyet çubuğunun montajı	1.50
	143	135,47	El firenin montajı	2.67
Elektrik kontrolü ve son işlemler	144	-	Plaka sacının hazırlığı	3.56
	145	144,108,110	Plaka sacını montajı	1.56
	146	108	Kablo ve hortumları toplama	3.85
	147	146	Döşemenin elektrik tesisatını toplama	4.38
	148	147	Sac tavanın elektrik tesisatını toplama	4.67
	149	148	Kabinin genel elektrik testini yapma	7.84
	150	149	Kabinin kalorifer testini yapma	4.12
	151	150	Kapı siviçlerini toplama	1.77
	152	151	Plaka lambasını kabine monte etme	0.56
	153	152	Arka stop lambasını kabine monte etme	1.44
Sol kapı cam haz.	154	X	Kabin iskeletini banttandırma	3.91
	155	-	Sol kapı iskeletini aparata bağlama	0.61
	156	155	Sol kapının alt ve üst camlarını hazırlama	3.61
Sol kapı haz.	157	156	Sol kapı iskeletinin camlarını takma	15.04
	158	157	Sol kapının "K" lastiğine mastik çekme	0.74
	159	158	Sol kapı kolunu takma	6.41
	160	159	Sol kilit kolunu takma	2.67
	161	160	Sol kapı menteşelerini takma	10.54
	162	K	Kabinlerin camlarını temizleme	38.60

K : Kabin camlarını temizleme işi esnek bir önceliği vardır. Yani kabin iskeleti banda inmeden önce de olabilir, indikten sonra da olabilir.

X: Kabin iskeletini banttandırmanın öncelikleri (Montaj işlemleri bitmiş kabin); 153, 9, 10, 138, 115, 137, 125, 118, 127, 128, 132, 133, 134, 142, 143, 6, 8, 43, 116, 44, 57, 58, 112, 111, 113, 114, 119, 120, 126, 7, 117, 136, 145'dir.

Y*: Yan Oturak Hazırlığı faaliyeti (İki iş elemanından oluşmaktadır (45 ve 46).

M*: Kapı Cam Hazırlığı faaliyeti (Üç iş elemanından oluşmaktadır (54,55,56).

Ek 2. Arka cam montajı için hazırlanan zaman etüdü ölçüm formunun arkası.

ARKA CAM MONTAJI														
ZAMAN ETÜDÜ ÖLÇÜM FORMU (Arka)														
NO	İŞ ELEMANI VE AYRIM NOKTASI	ÇEV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\sum Ni/n$	Ni
1	ARKA CAMI KABINE MONTE ETME	Ni	3,39	3,2	3,5	3,45	3,59	3,36	3,1	3,25	3,3	3,12	33,36/10	3,33
		L						80						
		tj	3,39	3,2	3,5	3,45	3,59	4,2	3,1	3,25	3,3	3,12		
	F	3,39	6,59	10,39	14,24	18,23	22,24	25,34	28,59	32,29	35,41			
	Segmanı Takar	F	3,39	6,59	10,39	14,24	18,23	22,24	25,34	28,59	32,29	35,41		
	NO/ÇEV	DEN	E KADAR		SÜRE	SEYREK ELEMAN								
	1/5	14,24	14,5		0,26	Camın üzerini silme								

Ek 3. Arka Cam Montajı için hazırlanan Zaman Etüdü Ölçüm Formunun ön yüzü.

ARKA CAM MONTAJI				
ZAMAN ETÜDÜ ÖLÇÜM FORMU (Ön)				
Normal Süre	3,33 dk			
Kişisel Paylar	0,4 dk			
Seyrek eleman payı	0,052 dk			
Zorunlu Geçikme payı	0,24 dk			
Standart süre	4,022 dk			
KİŞİSEL DİNLENME PAYLARI				
No	İş Elemanı	Normal Süre	Pay (%)	Pay Süresi
1	Arka camı kabine monte etme	3,33	12	0,4
2				
3				
SEYREK ELEMANLAR				
No	Seyrek Eleman Adı	Süre	Miktar	Br. Süre
1	Camın üzerine silme	0,26	5	0,052
2				
3				
ZORUNLU ELEMANLAR				
No	Eleman Adı	Süre	Miktar	Br. Süre
1	Cam menteşelerini ayarlama	1,2	5	0,24
2				
3				
KULLANILAN HAMMADDE VE MALZEMELERİ				
No	Adı	Br. Süre		
1	Arka cam	1		
2	Hava Tabancası	1		
3	Amortiser	2		

Ek 4. Arka cam montajı için hazırlanan iş analiz formu.

İŞ ANALİZ FORMU
YAPILAN İŞ: ARKA CAM MONTAJI
BÖLÜM: MF 3000 DRTİSİ MONTAJ HATTI
METOD (İş Elemanları ve Ayrım Noktaları)
1. ARKA CAMI KABİNE MONTE ETME (Segmanı takma)
1.1. Arka camı alır.
1.2. Camı kabine yerleştirir.
1.3. Camı menteşeleri ile kabine yerleştirir.
1.4. Cıvataları sıkır (Manuell).
1.5. Hava tabancası ile cıvataları sıkır.
1.6. Amortisörleri kabindeki amortisör uçlarına bağlar (2 adet).
1.7. Amortisör uçlarına segmanları takar (2 adet).
SEYREK ELEMAN
1. Camın üzerini silme.
MALZEMELER: Arka cam, Cıvata, Hava tabancası, Amortisör.

Ek 5. Arka cam montajı için hazırlanan kişisel dinlenme paylar tablosu.

KİŞİSEL DİNLENME PAYLAR TABLOSU			
BÖLÜM : MF 3000 Serisi montaj hattı		İŞLEM : Montaj	
PARÇA : Arka cam		İŞ ELEMANI : Arka cam montajı	
PAYORANI: %12			
	E	K	E K
A. Sabit Paylar		6. Fiziksel Monotonluk	
1. Kişisel İhtiyaç	5	7	Az Yorucu 0 0
2. Temel Yorgunluk	4	4	Yorucu 1 1
B. Değişken Paylar		7. Aydınlatma Şartları	
3. Ayakta Durma	2	4	(Öngörü)
4. Anormal Pozisyon	0	1	Az Altında 0 0
Zora Yakın	2	3	Çok Altında 2 2
Eğilmiş	7	7	Tamamen Yetersiz 5 5
Yere Yatmış			
5. Ağırlık Kaldırma (Kg)			
2.5 Kg	0	1	
5.0 Kg	1	2	
7.5 Kg	2	3	
10.0 Kg	3	4	
12.5 Kg	4	6	
15.0 Kg	6	9	
17.5 Kg	8	12	
20.0 Kg	10	15	
22.5 Kg	12	18	
25.0 Kg	14	-	
30.0 Kg	19	-	
40.0 Kg	33	-	
DEĞERLENDİREN SERKAN ALTUNTAŞ			

KAYNAKLAR

- Agnētis, A., Ciancimino, A., Lucertini, M. and Pizzichella, M. 1995. Balancing flexible line for car components assembly. *Int. J. Prod. Res.* Vol. 33 (2), 333-350.
- Ağpak, K. and Gökçen, H. 2005. Assembly line balancing: Two resource constrained cases. *Int. J. Production Economics* 96. 129-140.
- Arcus, A.L. 1966. Comsol a computer method of sequencing operations for assembly lines. *The International Journal of Production Research* V. 4 (4), 259- 277.
- Bartholdi, J.J. 1993. Balancing Two-Sided Assembly Line: A Case Study. *Int. J. Prod. Res.* 31 (10), 2447-2461.
- Bautista J. and Pereira, J. 2007. Ant algorithms for a time and space constrained assembly line balancing problem. *European Journal of Operational Research* 177. 2016–2032.
- Baykasoğlu, A. and Dereli, T. 2009. Simple And U-Type Assembly Line Balancing By Using an Ant Colony Based Algorithm. *Mathematical and Computational Applications.* 14 (1), 1-12.
- Baykasoğlu, A. and Dereli, T. 2008. Two-Sided Assembly Line Balancing Using An Ant-Colony Based heuristic. *Int. J. Adv Manuf Technol.* (36), 582–588.
- Boysen, N., Fliedner, M. and Scholl, A. 2009. Level scheduling of mixed-model assembly lines under storage constraints. *International Journal of Production Research.* 47 (10), 2669–2684.
- Boysen, N. and Fliedner, M. 2008. A versatile algorithm for assembly line balancing. *European Journal of Operational Research* 184. 39–56.
- Buxey, G.M. 1974. Assembly line balancing with multiple stations. *Management Science.* Vol. 20 (6), 1010-1021.
- Carnahan, B., Norman, B.A. and Redfern, M.S. 2001. Incorporating physical demand criteria into assembly line balancing. *IIE Transaction.* (33), 875-887.
- Çerçioğlu, H., Özcan U., Gökçen H. ve Toklu B. 2009. Paralel Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Bir Tavlama Benzetimi Yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Der.* 24 (2), 331-341.
- Erkut, H. ve Baskak, M. 2003. Stratejiden Uygulamaya Tesis Tasarımı, İrfan Yayınevi, İstanbul.
- Gökçen, H. and Erel, E. 1997. A goal programming approach to mixed-model assembly line balancing problem. *Int. J. Production Economics.* (48), 177-185.

- Gökçen, H., Ağpak, K. and Benzer, R. 2006. Balancing of parallel assembly lines. *Int. J. Production Economics.* (10), 600–609.
- Helgeson, W.B., Salvesson, M.E. and Smith, W.W. (1954) How to balance an assembly line. Technical Report. Carr Press, New Caraan, Conn.
- Jolai, F., Jahangoshai, Rezaee, M. and Vazifeh, A. 2009. Multi-Criteria Decision Making For Assembly Line Balancing. *J. Intell. Manu.* (20), 113–121.
- Johnson, R.V.1991. Balancing assembly lines for teams and work groups. *Int. J. Prod. Res.* Vol. 29 (6), 1205-1214.
- Kim, Y.K., Kim, Y. and Kim, Y.J. 2000. Two-Sided Assembly Line Balancing: A Genetic Algorithm Approach. *Production Planning & Control.* 11 (1). 44–53.
- Kim, Y.K., Song, W.S. and Kim, J.H. 2009. A Mathematical Model and A Genetic Algorithm For Two-Sided Assembly Line Balancing. *Computers & Operations Research.* (36), 853 – 865.
- Lee, T. O., Kim, Y. and Kim, Y. K. 2001. Two-Sided Assembly Line Balancing to Maximize Work Relatedness and Slackness. *Computers and Industrial Engineering.* (40), 273–292.
- Miltenburg, J. 1998. Balancing U-lines in a multiple U-line facility. *European Journal of Operational Research.* (109), 1-23.
- Özcan, U. and Toklu, B. 2009a. A Tabu Search Algorithm for Two-Sided Assembly Line Balancing. *Int. J. Adv Manuf Technol.* (43), 822–829.
- Özcan, U. and Toklu, B. 2009b. Multiple-Criteria Decision-Making in Two-Sided Assembly Line Balancing: A Goal Programming and a Fuzzy Goal Programming Models. *Computers & Operations Research.* (36), 1955 -1965.
- Özcan, U. and Toklu, B. 2009c. Balancing of Mixed-Model Two-Sided Assembly Lines. *Computers & Industrial Engineering.* (57), 217–227.
- Park, K., Park, S. and Kim, W. 1997. A Heuristic for an assembly line balancing problem with incompatibility, range and partials precedence constraints. *Computers and Industrial Engineering.* Vol. 32 (2), 321-332.
- Pastor, R. and Ferrer, L. 2009. An Improved Mathematical Program to Solve The Simple Assembly Line Balancing Problem. *International Journal of Production Research.* 47 (11), 2943–2959.
- Pastorl, R., Andres, C., Duran, A. and Perez M. 2002. Tabu search algorithms for an industrial multi-product and multi-objective assembly line balancing problem, with reduction of the task dispersion. *Journal of the Operational Research Society.* (53), 1317-1323.
- Sabuncuoğlu, İ., Erel, E. and Alp A. 2009. Ant colony optimization for the single model U-type assembly line balancing problem. *Int. J. Production Economics.* (120), 287–300.
- Salvesson, M.E. 1955. The assembly line balancing problem. *The Journal of Industrial Engineering.* 6 (3), 18-25.
- Sawik T. 2002. Monolithic vs. hierarchical balancing and scheduling of a flexible assembly line. *European Journal of Operational Research.* (143). 115–124.
- Scholl, A., Flidner, M. and Boysen, N. 2009. ABSALOM: Balancing assembly lines with assignment restrictions. *European Journal of Operational Research.* Article in Press. doi:10.1016/j.ejor.2009.01.049.
- Simaria, A.S., Zanella, M de Sa., and Vilarinho, P.M. 2009. Meeting Demand Variation Using Flexible U-Shaped Assembly Lines. *International Journal of Production Research.* 47 (14), 3937–3955.
- Simaria, A.S. and Vilarinho, P.M. 2009. 2-ANTBAL: An ant colony optimization algorithm for balancing two-sided assembly lines. *Computers & Industrial Engineering.* (56). 489–506.
- Vilarinho, P.M. and Simaria, A.S. 2002. A two-stage heuristic method for balancing mixed-model assembly lines with parallel workstations. *Int. J. Prod. Res.* Vol. 40 (6), 1405-1420.
- Vilarinho, P.M. and Simaria, A. S. 2006. ANTBAL: an ant colony optimization algorithm for balancing mixed-model assembly lines with parallel workstations. *International Journal of Production Research,* Vol. 44 (2), 291–303.
- Xiaofeng, H., Erfei, W. and Ye, J. 2008. A Station-Oriented Enumerative Algorithm for Two-Sided Assembly Line Balancing. *European Journal of Operational Research.* (186), 435–440.
- Wu, E.F., Jin, Y., Bao, J.S., and Hu, X.F. 2008. A Branch-And-Bound Algorithm for Two-Sided Assembly Line Balancing. *Int. J. Adv Manuf Technol.* (39), 1009–1015.