

Hastane Görüntüleme Merkezlerinde Hizmet Kalitesinin Artırılmasına Yönelik Bir Hat Dengeleme Yaklaşımı

Burak ERKAYMAN (*)

Muhammed Sefa GÖR (**)

Öz: Günümüzde her alanda olduğu gibi hız, zaman ve verim gibi kavramların önemli olduğu bir ortamda bu kavramlar sağlık sektörünün içinde önemli bir yer arz etmektedir. Bu oluşan beklenti en çokta sağlık sektörünün en önemli paydaşı olan hastaları kapsamaktadır. Hastanın, hastaneye girmesi ile başlayan sürecinin en hızlı, güvenli ve başarılı bir şekilde tamamlanmasının sağlanması gereklidir. Sağlık hizmetleri sistem büyük ve karmaşık olduğu için bu çalışmada görüntüleme merkezlerini incelenmiştir. Görüntüleme merkezleri için hat dengeleme mantığı ile probleme yaklaşmış ve çözüm yöntemleri bu mantık ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma imalat sektöründeki araştırma, iyileştirme, geliştirme ve yenilikçilik yaklaşımlarının sağlık sektörüne de uygulanabileceğini gösteren disiplinler arası bir çalışmadır. Geliştirilmesi planlanan sistem kamu hastaneleri ya da özel hastanelerde olmak üzere kullanılacağı yerde maliyet, zaman, performans ve kalite gibi konularda önemli faydalar sağlayacağı düşünülmektedir. Söz konusu problemin çözümünde montaj hattı dengeleme çözüm tekniklerinden bir deterministik yöntem kullanılmıştır. Sonuçlar bir istatistiksel analiz programı yardımıyla değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sağlık Sistemlerinde Kalite, Darboğaz Analizi, Hat Dengeleme

A Line Balancing Approach for Increasing Quality of Service in Imaging Centers of Hospitals

Abstract: Today, as in every field, speed, time and efficiency are important in an environment where concepts constitute an important place in the health sector. The most expectation of this covers patients who are the most important stakeholders in the health care industry. The process begins with the patient entering the hospital quick, completed in a manner required to ensure safe and successful. Health services system is large and complex, because in this study, imaging centers were studied. Imaging centers have been approached with the logic of the problem for line balancing and this logic was carried out with solution methods. This study research in the manufacturing sector, improvement,

*) Yrd. Doç. Dr., Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği
(e posta: erkaymanb@gmail.com)

***) Yüksek Lisans Öğrencisi, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği
(e posta: muhammedsefagor@gmail.com)

development and innovation is an interdisciplinary study of approaches that can be applied to the health sector. The system, which is planned to be developed, public hospitals or private hospitals in the place where it used to be in cost, time, performance, and quality it is believed to provide important benefits in areas such as. Deterministic and heuristic solution methods solving the aforementioned problems using a method of assembly line balancing techniques were compared. A statistical analysis of the results were evaluated and interpreted with the help of the program.

Keywords: *Quality in Health Care System, Bottleneck Analysis, Line Balancing, COMSOAL Method*

Makale Geliş Tarihi: 30.03.2016

Makale Kabul Tarihi: 20.06.2016

I. Giriş

Birçok alanda istenilen ürüne ulaşmanın çok kolay olduğu günümüz teknoloji çağında tüm sektörlerde olduğu gibi sağlık sektöründe de kalite beklentisi en yüksek düzeydedir. Hastanelerin hizmet kalitesini yükseltmede karşılaştığı sorunlar o kadar fazladır ki bunların her biri ayrı bir çalışma konusu olabilir. Hizmet kalitesinin ölçülmesinde şüphesiz en önemli ölçüt hastanın iyileşip iyileşmediğidir. İyileşmenin ölçülmesi de son derece güçtür. İyileşmenin haricindeki performans ölçütlerinden hastane içi akışın hızlandırılması ve kolaylaştırılması, ölçümü ve uygulaması nispeten daha rahattır.

Hastanın hastane içerisine girmesiyle başlayan süreç tetkik, tahlil ve görüntüleme merkezleri gibi yerlerde geçirilen sürelerle beraber günlere hatta haftalara uzamaktadır. Nasıl imalat sistemlerinde sisteme giren bir parçanın sistemi en kısa sürede asgari kalite şartlarını sağlayarak terk etmesi istenirse, sağlık sistemlerinde de hastanın hastane içerisinde geçirdiği sürenin en az olması arzu edilen bir durumdur. Söz konusu sürenin az seviyede tutulması hastaları memnun edeceği gibi hastaneler içerisinde hizmet bekleyen diğer hastaların da işlerinin hızlanmasını sağlayacaktır. Özellikle belirli coğrafi bölgelerde bölge hastaneleri olarak tanımlanmış sağlık kuruluşlarında çevre yerleşim merkezlerinden gelen hastaların orada geçirdikleri zamanın artması hem ekonomik açıdan hem de psikolojik açıdan kendilerini olumsuz etkilemektedir.

Dünyanın bazı bölgelerinde hastane içi yapıda bütün bölümlerin ortak kullandığı genellikle bir ya da birkaç tane görüntüleme merkezi bulunmaktadır. Görüntüleme merkezlerinin az sayıda ve ortak olması hastaneye gelen hastaların, doktorların gerek görüp röntgen, tomografi, MR, ultrason ve benzeri tetkikleri istemeleri durumunda yığılmaların en fazla olduğu bölümlere dönüşmesine ve dolayısıyla sağlık hizmet kalitesi performans ölçütlerinden biri olan hastanede geçirilen toplam sürenin artmasına sebep olmaktadır.

Hastane yönetimleri bahsettiğimiz sebeplerden dolayı oluşan darboğazların giderilmesini hem maliyet düşürmek hem de mevcut kapasiteyi en yüksek seviyede kullanmak

için arzu etmektedirler. Hastane yönetimlerinin üzerinde hizmet kalitesini artırmanın yanında fiyat ve maliyet baskıları da vardır. Görüntüleme merkezlerinde oluşan yığılmalardan kaynaklı darboğaz, doğru kullanılmayan kapasite gibi doğrudan maliyetlere neden olduğu gibi hasta kayıpları gibi dolaylı maliyetlere de neden olmaktadır. Görüntüleme merkezlerindeki işlemler için verilen randevu sürelerindeki en küçük bir iyileştirme hastanın aldığı hizmetten memnuniyetini ciddi şekilde artıracığı gibi sağlık kuruluşuna da kayda değer maddi kazanımlar ve hasta-müşteri iyi niyeti sağlayacaktır.

Randevu sürelerinde bizi iyileştirmeye götürecek ana yol imalat hatlarında dengeleme konusundan esinlendiğimiz hat dengeleme mantığı olacaktır. Montaj hattı dengeleme yöntemleri hastane görüntüleme merkezlerine uygulanarak, merkezler hasta talebini karşılayacak şekilde ve sayıda düzenlenecektir.

Süreç içerisinde zaman kaybına yol açacak tüm faaliyetler azaltılarak görüntüleme işlemlerinde bir standart sağlanmıştır. Sağlanan bu standart ile çalışmanın altyapısı oluşturulup hizmet vermesi gereken istasyon sayıları ve bunlara bağlı personel sayılarının da belirlenmesine yardımcı olmuştur. Doğru istasyon doğru planlamayı gerektirmiş ve bu da karşılaşılan darboğazlarda iyileşme sağlamıştır. Bilinen montaj hattı dengeleme tekniklerinden faydalanılmış olup, ihtiyaç halinde meta-sezgisel tekniklere de başvurulmuştur. Kapasite kullanım oranları belirlenecek çalışanların ve cihazların daha verimli ve etkin kullanılması sağlanmıştır. Kapasitenin gerekli görüldüğü takdirde ne kadar genişletilebileceği ya da genişletmeye ihtiyaç olup olmadığı bilgisi sunulmuştur. Kullanılan yöntemler yeni olmayıp farklı bir disipline uygulanmış olması çalışmayı özgün hale getirmektedir. Her cihazı kullanacak kişi sayısı belirli ve standart olduğundan personel ile ilgili herhangi bir planlama çalışması bu çalışmada yer almamaktadır.

II. Kapsam ve Literatür Taraması

Günümüz küreselleşen rekabet ortamında bilimin ve teknolojinin sunduğu olanakları kurum ve kuruluşlar kendi adına avantaja dönüştürmek istemektedir. Bilim insanları işletmelerin/kurumların problemlerini görme adına farklı problemler için benzer mantıklı çözümler üreterek problemleri basitleştirmeyi hedeflerler.

Bu çalışmada özellikle fiziksel ürünlerin üretilmesine yönelik kullanılan Montaj Hattı Dengeleme metodlarının, hizmet sistemlerine de uygulanabileceği gösterilmeye çalışılacaktır. Bu amaçlar doğrultusunda hastalara tedavi hizmeti sunan bir hastanenin tıbbi görüntüleme merkezinde uygulama çalışması yapılacaktır. Bu merkezde hastalara sunulan standart hizmetlerin her biri üretim sistemlerindeki bir ürün çeşidi olarak düşünülüp problem montaj hattı dengeleme problemi olarak ele alınacaktır. Böylece, üretim sistemleri için geliştirilen daha pek çok metot hizmet sistemlerinde uygulanabilmek için karşılık bulacak ve pratik uygulamalar açısından önem kazanacaktır. Benzer çalışmaların hizmet üreten pek çok kurum ve kuruluşta uygulanması mümkün olacaktır.

Kapasite planlama sisteminin yönetimi, firmalar ve kurumlar için giderek önem kazanmaktadır. Belirsiz talep ortamında kapasite gereksinimi ve kullanımındaki kararsızlığını, gerginliğini azaltmak oluşan darboğazlardaki sistem performansını önemli derecede

etkilemektedir. Dar boğazların tespiti ile işlere ve makinelere en uygun iş yüklemenin yapılması durumunda en yüksek verimliliğin elde edilebileceği yapılan çalışmalarla görülmektedir.

Bazı hizmet sistemlerinde müşteriye sunulan standart hizmetlerin; imalat sistemlerinde kurulan montaj hatlarında olduğu gibi toplam işin rasyonel parçalara ayrılması gibi benzer mantıkla rasyonel parçalara ayrılması mümkündür. Aynı şekilde ürünü oluşturmak için gerekli iş, sıralarının olması gibi, hizmeti oluşturan iş, sıralarının olduğuna da dikkat edilmeli ve bu yönden iki sistem benzer mantıkta düşünülmelidir. Böylece standart hizmetin üretildiği alan bir servis hattı gibi düşünülüp, montaj hattı için yapılması gerekenlerin tümü, servis hattı için de geçerli olacaktır.

Montaj hatları günümüz endüstrisinde önemli bir yeri olan kitle üretim yöntemlerinden birisi olarak bilinir. Bir üretim sisteminde üretilmesi amaçlanan ürün veya yarı ürünlerin belirlenen bir üretim hattında bir araya getirilerek birleştirilmesi ve son aşamada amaçlanan ürün veya yarı ürünlerin elde edilmesine montaj, bu üretim hattına da montaj hattı denir.

Montaj hattı dengeleme problemlerinde dengeleme çalışmaların, montaj işleminin yapılabilmesi için gerekli işler, bu işlerin tamamlanma süreleri ve işler arasındaki öncelik-sonralık ilişkileri verildiğinde bir performans ölçütünü optimum şekilde sıralı iş istasyonlarına atanması şeklinde söylenebilir. (Meyers & Stephens, 2005)] 'de yaptıkları çalışmalarında montaj hattı dengelemenin amaçlarını: (i) işçiler arasında iş yükünü dengelemek, (ii) darboğaz işlemlerini tanımlamak, (iii) montaj hattının hızını belirlemek, (iv) istasyon sayısını tespit etmek, (v) işçilik maliyetini belirlemek, (vi) fabrika yerleşimine yardım etmek, (vii) üretim maliyetini azaltmak olarak sıralamaktadırlar. Teknolojik gelişmelerle birlikte modern yapıların oluşmasıyla beraber bu yeni yapılardaki süreçlerin tasarımında en önemli konulardan birini esneklik oluşturmaktadır. Buradan yola çıkarak (Nahmias, 1997, 191) deki çalışmasında, hat dengelemede bir defalık bir yerleşim planının uygulamasından ziyade ihtiyaçlara daha rahat cevap verebilecek dinamik bir planlama problemi haline geldiğine değinmektedir.

Literatüre bakıldığında bu konuda bugüne kadar birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Çalışmaları montaj hatlarının tipine göre ele alacak olursak; ilk olarak geleneksel tipte montaj hatlarını daha sonra U tipi montaj hatlarını daha sonrada paralel montaj hatlarını değerlendireceğiz.

Geleneksel düz hat montaj hattı dengeleme ile ilgili çalışmalara değinilecek olursa: Geleneksel hatlarda montaj işleminin yapılabilmesi için gerekli görevler, bu görevlerin aldıkları süreler ve aralarındaki öncelik ilişkileri verildiğinde, bir performans ölçüsü optimum yapılacak şekilde görevlerin istasyonlara atanmasıdır.

Montaj hattı dengeleme problemi için optimal ve sezgisel sonuçlar üreten çok sayıda metot bulunmaktadır. Optimal çözüme ulaşmak için; (Held, Karp, & Shreshian, 1963), (Klein, 1963), (Patterson & Albracht, 1975)'deki çalışmalarında tamsayılı programlamayı kullanarak optimal dengeye ulaşmışlardır. Tam sayılı programlama bazı değişkenlerin

veya tüm değişkenlerin negatif olmayan tam sayı olduğu doğrusal programlama modelleri olarak bilinmektedir. (Jackson, 1956), (Held et al., 1963), (Kao & Queyranne, 1982, 375) ise montaj hattı dengeleme çalışmalarında dinamik programlamayı kullanmışlardır. (Gunther, Johnson, & Peterson, 1983), (McMullen & Frazier, 1998), (Ağpak & Gökçen, 2005) amaç programlamayı kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Dal sınır yöntemi ağaca ilk görevden başlayarak her bir görev için öncelik ve kaynak kısıtlarına göre çizelgelenecek düğüm ekler ve böylece ağaç yapısı oluşturulmuş olur. Dal sınır algoritması da geleneksel düz hat montaj hattı dengeleme problemlerinde (Johnson, 1981) tarafından 1981 yılında uygulanmıştır.

Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümünde meta-sezgiseller de sıklıkla kullanılmıştır. Meta sezgisel tabanlı optimizasyon algoritmaları gerçek hayattaki uygulamalara yeni bir bakış açısıyla yeni çözüm yöntemleri geliştirmişlerdir. Montaj hattı dengeleme probleminin çözümünde doğada gözlemlenen evrimsel sürece benzer şekilde çalışan arama ve eniyileme yöntemlerinden genetik algoritmayla ilgili (Suresh & Sahu, 1994), (Kim, Kim, & Kim, 2000), (Sabuncuoglu, Erel, & Tanyer, 2000) çalışmalarda bulunmuşlardır. Doğadaki canlıların davranışlarını inceleyerek geliştirilen algoritmalarda montaj hatları ile ilgili çalışmalarda kullanılmaya başlamıştır. Statik problemlerdeki yüksek performanslarına ek olarak dinamik özellik gösteren problemlerde yüksek esnekliğe sahiptir bu algoritmalar. Karınca koloni algoritması, karıncaların yiyecek aramalarından esinlenerek ortaya atılmış sonuca en kısa zamanda ve en hızlı şekilde ulaşabilme amacı gütmektedir. Bununla ilgili (McMullen & Frazier, 1998), (Bautista & Pereira, 2007), tabu arama ile (Lapierre, Ruiz, & Soriano, 2006)' da son çözüme götüren adımın dairesel hareketler yapmasını engellemek için yasaklanması veya cezalandırılması prensibine dayanan böylelikle bölgesel en iyi çözümün daha ilerisindeki çözümlerin araştırılmasıyla ilgili sezgisel araştırmayı çalışmışlardır. (Suresh & Sahu, 1994) tavlama benzetimi yaklaşımı önermektedir.

Stokastik montaj hattı dengeleme ise ilk defa (Moodie, 1964) tarafından ortaya konulmuştur. Stokastik görev zamanlarının genellikle normal dağılıma uyan bağımsız rassal değişkenlerden oluştuğu kabul edilmektedir. Verilen bir olasılığa göre, her bir istasyonun toplam zamanı, çevrim zamanını aşmayacak şekilde görevler istasyonlara atanır. Görev zamanlarının farklı olasılık dağılımlara uyduğunu kabul eden çalışmalar da (Kao, 1976), (Kao, 1979), (Sniedovich, 1981), (Nkasu & Leung, 1995) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Geleneksel düz hat konfigürasyonundan sonra U-tipi hatlar montaj hatlarında kullanılmaya başlanmıştır. U tipi yerleşimde hattın giriş ve çıkışı aynı pozisyonda yer almaktadır. Bu yerleşimin en dikkat çekici ve en önemli avantajı, üretim miktarındaki değişimlere uyum sağlamada gerekli işçi sayısını arttırabilme yada azaltabilme esnekliğini sağlıyor olmasıdır.

Deterministik U tipi hat dengeleme konusunda literatürde yer alan çalışmalardan bazıları: 20 göreve kadar çözüm sağlayabilen dinamik programlama algoritması (G. Miltenburg

& Wijngaard, 1994) tarafından ortaya konmuştur. (J. Miltenburg, 1998) 'deki çalışmasında birden fazla U-tipi hat olduğunda, bu hatlar arasında optimal dengeyi sağlayan bir dinamik programlama algoritması sunmaktadır.

(Urban, 1998) optimal dengenin tespiti için tamsayılı programlama formülasyonu önermektedir. (Scholl & Klein, 1999) deterministik U-tipi hat dengeleme için dal sınır algoritmasıyla çalışan ve belki de bilinen en iyi sonuçları üretebilen ULINO (U Line Optimizer) önermektedir. ULINO, literatürde 45 görevden az olan problemler yanında 45 görevden büyük problemlerde de etkin çözümler verebilmektedir.

Meta-sezgiseller de U-tipi hat dengelemede kullanılmıştır. (Ajenblit & Wainwright, 1998) genetik algoritmayı, (Erel, Sabuncuoglu, & Aksu, 2001) tavlama benzetimini deterministik U-tipi hat dengeleme problemlerinde kullanmıştır.

Stokastik U-tipi hat dengeleme problemleri için (Nakade, Ohno, & Shanthikumar, 1997), stokastik U tipi hat dengeleme probleminin genel durumu için hattın beklenen çevrim zamanının alt ve üst sınırlarının tespiti üzerinde çalışmışlardır. (AĞPAK, GÖKÇEN, SARAY, & Suna, 2002) stokastik görev zamanlı tek modellenli U tipi hat dengeleme problemi için COMSOAL metodunu baz alan yeni bir sezgisel prosedür kullanmaktadır. (Guerriero & Miltenburg, 2003) U-tipi hat dengeleme problemi için tamamlanma zamanları herhangi bir dağılım fonksiyonuna uyduğunda optimal çözümün bulunması için özyinelemeli (tekrarlayan) bir algoritma sunmaktadır. (Urban & Chiang, 2006) stokastik görev zamanlı U-tipi hat dengeleme problemi için şans kısıtlı parçalı (piecewise) doğrusal tamsayılı programlama modelini formüle etmişlerdir.

Paralel montaj hattı değerlendirme birçok paralel montaj hattını içeren bir üretim sistemini üzerinde çalışır. Paralel montaj hattı değerlendirme, aynı ya da benzer ürünlerin üretildiği birden fazla paralel hattın bulunduğu üretim sistemlerinde istasyonlara görev atamalarının eş zamanlı yapılması ve dolayısıyla kaynak en küçüklemesini hedefleyen yeni bir kavramdır. Paralel montaj hattı değerlendirme problemlerinde birden fazla montaj hattının birlikte dengelenmesiyle, gerekli operatör sayısının en azlanması hedeflenmektedir.

Paralel montaj hattı dengeleme problemini, ilk kez (Gökçen & Ağpak, 2006) tarafından 2006 yılındaki çalışmalarında tanımlanmıştır. Gökçen ve arkadaşları bu çalışmalarında paralel hatların dengelenmesi probleminde, pasif ve aktif durumu ayrı ayrı ele aldıktan sonra, farklı çevrim zamanları için de problemi irdelemişlerdir. Ayrıca paralel montaj hattı dengelemeyi ilk kez ele alan bu çalışmada 0-1 tamsayılı programlama modeli de önerilmektedir. Daha sonra (Benzer, Gökçen, Cetinyokus, & Cerçioğlu, 2007) 'deki çalışmalarında paralel montaj hattı değerlendirme problemi için bir başlangıç noktasından bitiş noktasına kadar en kısa yolu bulma problemi olan en kısa yol formülasyonunu kullanan bir network modeli önermişlerdir.

Bu çalışmanın amacı hem işletmelerdeki müşterilerin hemde kurum ve kuruluşlarda hizmet alanların ihtiyaçlarını karşılamak için, zaman içinde çıkan darboğaz problemlerini

tanımlamak ve çözmek, planlanan ve gerekli kapasiteyi dengelemektir. Bu amaçla iyi bir planlama yapmak ve değişken talebe cevap verme aşamasında, kapasiteyi ayarlamak önemlidir. Mevcut kapasiteden en üst seviyede yararlanarak bekleme süreleri azaltılır ve böylece memnuniyet artar.

Ürün tasarımı ve mühendislik süreçlerinin performansını artırmak için bir darboğaz yönetim kavramı geliştirilmiş ve bu bilgilerin kavramsal olarak yerleşmesi için bilginin bu iki boşluğunu doldurmak için test edilir. Bu boşluklar, uygun bir darboğaz yönetim kavramından karşılanması gereken üç gereksinimleri vardır: (i) İmalat darboğaz yönetimi yöntemleri ürün tasarımı ve mühendislik süreçlerine yaygınlaştırılmalıdır. (ii) Darboğaz yönetim kavramında ortaya çıkan kapasite darboğazları ile başa çıkmak mümkün olmalıdır. (iii) Bazı performans göstergeleri yeni darboğaz yönetim kavramının etkisini ölçmek için gereklidir. (Hinckeldeyn, Dekkers, Altfeld, & Kreutzfeldt, 2014)

Bu üç gereksinimin sağlanmasından sonra uygun bir darboğaz yönetim kavramı geliştirilebilir. Ürün tasarımı ve mühendislik süreçlerinin performansını artırmak içinde bu darboğaz kavramının sağlam temeller üzerine oturtulması gerekir.

III. Yöntem

Bu çalışmanın amaç ve kapsamlarından mevcut bulunan hastanelerde ki Görüntüleme Merkezlerini içermektedir. Ancak şu an bu yapılarının içerisinde mevcut bulunan akışlar kendiliğinden meydana gelen sistemlerdir. Bu departmanların kendilerine ait çizelgelerin bir sistemi ve otomasyonu mevcut değildir. Ayrıca hastane çalışanlarının; hastaların güvenliğini artırmak, hastane içerisinde ki gecikmeleri önlemek, işlerin çalışanlar açısından kolaylaştırılmasını sağlamak, maliyetleri düşürmek, sistemde geçen toplam çevrim süresini düşürmeyi ve görevlerde bir standartlaştırmayı hedef almalarına yardımcı olacak bir çalışmadır. Kaizen (“sürekli gelişim”) kavramına göre; Her kişinin görevi sadece iş yapmak değil, aynı zamanda o işi yapmanın daha iyi bir yolunu bulmaktır. Bu çalışmada optimizasyon yöntemi ile montaj hattı dengeleme mantığı bir arada kullanılarak daha etkin ve daha hızlı Görüntüleme Merkezi çalışmasına izin verilmeye çalışılmıştır. Bunun için 3 adım belirlenmiştir.

A. Sistem Analizi

Öncelikli olarak “Hareketi (yapılan görevleri) değerden (yapılan görevler arasında hastaya yardımcı olan şeylerden) ayırmayı öğrenmek ile başlanılacaktır. Hastaneler ve hasta bakım kurumları kaliteye yada hastanın ihtiyaç duyduğu bakıma zarar vermeyecek yollardan zamanlarını özgürleştirmeyi öğrenmelidirler. Görüntüleme Merkezlerinde ise ilk etap görevi şu şekildedir;

- Hastanın görüntülenme isteğinin kabulü
- Hastaya ilaç vermek veya görüntülenme isteği hakkında bilgi vermek

- Sorularını yanıtlamak
- Uygun günü ve makineyi atamaktır.

Servisler, çalışanlar yada hastaneler fazla çalıştığında, daha fazla insan gücü ve kaynak istemek yerine israfı azaltması gerekir. İsrafın azaltılması ayrıca insan sayısını artırmadan daha fazla iş alınmasına ve bunu çalışanlarını sıkıştırmayacak şekilde yapılmasına olanak tanınmalıdır. Bu görünen israfı düşürmek ile maliyetlerde azalmaya, daha fazla hizmet sunulmasına, kalitenin artırılıp ve çalışan memnuniyetini yükseltmeye olanak sağlar.

Tablo 1. Hastaneler için düşünce ilkeleri ve hastanelerin yapması gerekenler
(Grabau, 2011)

İlke	Hastanenin Yapması Gerekenler
Değer	Değerin nihai kullanıcı (hasta) açısından belirlenmesi
Değer Akışı	Servis sınırları ötesinde tüm değer katan adımları tespit ederek (değer akışı), değer yaratmayan adımların ortadan kaldırın.
Sürekli akış	Toplu işler ve kalite sorunları gibi gecikme nedenlerini ortadan kaldırın.
Çekme	İşi bir sonraki göreve yada servise doğru itmekten kaçınınız; görevin ve makinelerin gerekli olduğu durumlarda çekilmesini sağlayın.
Mükemmellik	Kaizen (sürekli gelişim) sayesinde mükemmelliğin sağlanmasına imkan tanıyın.

B. Montaj Hattı Dengeleme Sistemi Kurulması

Bir iş elemanının montajı önceden belirlenmiş ilgili istasyonda öncelik ilişkisine bakılarak yapılmalıdır. Montajı yapılacak ürünün hattı tasarlandığında, ürünün yapılacak işlemleri arasında süre farklarının dengelenmesi problemi ortaya çıkar. İşte ürün oluşumu sırasında yapılması gereken işlerin, montaj istasyonlarına, kayıp süreleri en aza indirecek şekilde atanması olayına montaj hattı dengeleme denmektedir (Tanyaş & Baskak, 2003).

Montaj hattı dengelemedeki en önemli unsur, hat üzerinde aynı işlem zamanına sahip iş istasyonu sayısını ya da çevrim süresini minimizasyon yapmaktır. Hat dengelemenin temel amacı istasyonlardaki zaman fazlalıklarını bularak azaltmak için montaj hattındaki toplam iş yükünü istasyonlara eşit olarak dağıtmaktır. Bu amaçla iş elemanları, ürün ağacı yapıları gibi düşünülerek çıkarılan öncelik ilişkilerine ve istasyonların boş sürelerine göre iş istasyonlarına atanır. Bu problem literatürde montaj hattı dengeleme problemi olarak adlandırılır (Kılınçcı, 2004).

Geleneksel montaj hattı dengeleme problemi, görevlerin sıralı bir şekilde farklı iş istasyonlarına atanarak ürünlerin oluşturulduğu üretim sürecini dikkate almaktadır. Görevlerin istasyonlar arasındaki dağılımı, görevler arasındaki mevcut öncelik kısıtlarının yanı

sıra her bir görevi tamamlamak için gerekli zaman birimine de bağlıdır. Ürünün her bir istasyonda en fazla çevrim zamanı (C) denilen zaman kadar kalmasına izin verilmektedir. Geleneksel hat dengeleme probleminde modellenen üretim hattı “düz” olarak organize edilmiştir. Öncelik diyagramındaki ilk görev(ler)den başlamak ve diyagram boyunca görevleri istasyonlarda gruplamak suretiyle denge oluşturulmaktadır (Kalender, Yılmaz, & Türkbey, 2008).

Montaj hatlarında önemli hususlardan birisi, her bir operasyonun tamamlanma süresidir. Montaj hattı dengeleme problemlerine ilk analitik yaklaşım 1954’te Bryton tarafından yapılmış ve bundan sonra bu konuda pek çok yöntem geliştirilmiştir (Acar & Eştaş, 1986).

Analitik Yöntemler: Bu yöntemlere, literatürde optimizasyon yöntemleri de denilmektedir. Talbot ve Patterson tarafından geliştirilen 0-1 tamsayılı programlama, E.H.Bowman tarafından geliştirilen doğrusal tamsayılı programlama ve Karp-Held-Shareshian tarafından geliştirilen dinamik programlama yaklaşımları analitik yöntemlere birer örnek oluştururlar. Yöntemler ise klasik modelleme mantığı ile amaç fonksiyonu ve kısıtlardan oluşmaktadır. Fakat bu yöntemlerde işlem sayılarının artması çözümü karmaşıklaştırır ve çözüme ulaşmak zor hale gelir.

Sezgisel (Bulgusal) Yöntemler: Bu yöntemler, belirli bir yöntemin (prosedürün) izlenmesi ve belirli varsayımların yapılması yoluyla, montaj hatlarının dengelenmesi konusunda yaklaşık çözüm verirler. Yöntemlerin çoğunda, çevrim süresi sabit kabul edilerek istasyon sayısı ve buna bağlı olarak dengeleme kaybı minimizasyonu mantığıyla çalışılır. Şimdiye kadar geliştirilen oldukça çok sayıda sezgisel yöntemde mevcuttur.

C. Matematiksel Model

Aşağıda matematiksel model üzerinde kullanılan kısaltmalar, gösterimler ve bunlara karşılık gelen tanımlarına yer verilmiştir;

N	görevlerin sayısı, $I, r \in \{1, 2, \dots, N\}$
m	iş istasyonları sayısı, $j \in \{1, 2, \dots, m\}$
R_i	Acil görev önceliklerinden i.set
St_i	i. istasyon numarasına görev atanması
Lt_i	i. görev işleme zamanının alt sınırı
Ut_i	i. görev işleme zamanının üst sınırı
Lc_i	i. görev maliyetinin düşük sınırı
Uc_i	i. görev maliyetinin üst sınırı
T_i	i. görevin işlem süresi
C_i	i. görevin makine maliyeti

CT çevrim süresi

$x_{ij} \in \{0, 1\}$ i. görevin j. istasyona atanması

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Minimum } Z_1 = CT \quad \text{Denklem-1}$$

$$\text{Minimum } Z_2 = \sum_{i=1}^N C_i \quad \text{Denklem-2}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^N (x_{ij} \times T_i) \leq CT \quad (\forall j = 1, 2, \dots, m) \quad \text{Denklem-3}$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad (\forall i = 1, 2, \dots, N) \quad \text{Denklem-4}$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} \geq 1 \quad (\forall j = 1, 2, \dots, m) \quad \text{Denklem-5}$$

$$St_i = \sum_{j=1}^m x_{ij} \times j \quad (\forall i = 1, 2, \dots, N) \quad \text{Denklem-6}$$

$$St_i \geq St_r \quad (\forall i, r = 1, 2, \dots, N; r \in R_i | i \neq r) \quad \text{Denklem-7}$$

$$\begin{cases} Lt_i \leq T_i \\ T_i \leq Ut_i \end{cases} \quad (\forall i = 1, 2, \dots, N) \quad \text{Denklem-8}$$

$$C_i = \frac{Uc_i - Lc_i}{Lt_i - Ut_i} (T_i - Lt_i) + Uc_i \quad (\forall i = 1, 2, \dots, N) \quad \text{Denklem-9}$$

Denklem-1 ile döngü süresini en aza indirmek amaçlandığı için minimizasyon alınmıştır. Denklem-2 ile ise toplam maliyetlerin en küçükleme yapılmaya çalışılmıştır. Denklem-3 işlemlerin toplam süresi çevrim süresini geçemez kısıtı yazılmıştır. Denklem-4'de her görev döngüde yalnız bir kez yapılmalıdır. Denklem-5 ile boşta istasyon kalmamalıdır ve en az bir iş istasyona atanması kriteri gösterilmiştir. Denklem-6 göreve atanan istasyon sayısı hesaplanırken, Denklem-7 öncelikli görevleri daha önce istasyona atanması kriteri yerleştirilmiştir. Denklem-8 ile her görevin işlem süresi iki alt ve üst sınırların arasında olmalıdır. Denklem-9'da ise toplam makine maliyetleri kısıtı oluşturulmuştur.

D. Darboğazlar ve Önlenmesi

Ürün tasarımı ve mühendislik süreçlerinin performansını artırmak için bir darboğaz yönetim kavramı geliştirilmiş ve bu bilgilerin kavramsal olarak yerleşmesi için bilginin

bu iki boşluğunu doldurmak için test edilir. Bu boşluklar, uygun bir darboğaz yönetim kavramından karşılanması gereken üç gereksinimi vardır:

1. İmalat darboğaz yönetimi yöntemleri ürün tasarımı ve mühendislik süreçlerine yaygınlaştırılmalıdır. Bir çok iyi test yöntemi ile darboğaz yönetim yöntemlerini üretmek vardır. Bu tekerleği yeniden icat etmek ve ürün tasarımı ve mühendislik süreçleri için yepyeni bir darboğaza karşı önlemler geliştirmek için gerekli değildir. Hastane gibi hizmet sektöründe bazı darboğaz yönetimi çözümleri kullanmak mümkün olabilir?

2. Darboğaz yönetim kavramında ortaya çıkan kapasite darboğazları ile başa çıkmak mümkün olmalıdır. Servis süreçlerinin kapasite tıkanıklıklarını yönetmek için şimdiye kadar bir çok çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Bu tür kapasite darboğazları da servis ve mühendislik süreçlerinde ortaya çıkabilir. Bu yeni darboğaz yönetim kavramı servis tasarımı ve mühendislik süreçlerinin kapasite darboğazları odaklanması gerektiğini ima eder.

3. Darboğaz yönetim kavramı, önceki araştırmalarda göz ardı edilebilirdi ancak şimdi servis tasarımı ve mühendislik süreçlerinin, performans üzerindeki etkisini ampirik testler yapmanız gerekir. Bu nedenle, bazı performans göstergeleri yeni darboğaz yönetim kavramının etkisini ölçmek için gereklidir.

Sistem teorisi, yeni darboğaz yönetim kavramı modellemek için kullanılır. Nedeni ise üretim, servis tasarımı ve mühendislik (hem iki süreçte modellemek) için uygun bir tekniktir (Dekkers, 2006). Ayrıca, sistem teorisi de proses kontrol mekanizmalarını model olabilir (Dekkers, 2005). Bu anlamda darboğazı yönetim işlem kontrolünün bir türü olarak görülebiliriz. Ayrıca, sistem teorisi giriş ve çıkışlarda bir ilişki olarak servis tasarımı ve mühendislik sürecini tarif edebilir. Öncelikle, ürün tasarımı ve mühendislik süreci iş yükü açısından, örneğin kalkınma projeleri ve müşteri siparişleri giriş yapar. Mühendislik kapasitesi girişi ikinci türüdür. Bu kapasite geliştirme çalışmaları yürütmek mühendis ve teknisyenlerden kaynaklanıyor. Bu iki giriş kombinasyonu, genellikle servis tasarımı ve mühendislik işlemleri durumunda yeni ürünler üretmek için bilgi işlemi, çıkış ile sonuçlanmaktadır. Bu çıkış örnekleri çizimleri, çalışma planları ya da süreç tanımları bulunmaktadır. Bu nedenle, sistem teorisi servis ve mühendislik süreçleri için yeni bir darboğaz yönetim kavramının gelişimini sağlamıştır.

E. Comsoal Yöntemi ile İlişkilerin Sıralanması

Arcus (1965) tarafından geliştirilen algoritma, olası dengeleme simülasyonları için bilgisayar kullanılarak iteratif yapıyla devam ettirilir. COMSOAL'da hızlı hesaplama için listeler kullanır. Algoritmayı açıklayan prosedür şu şekildedir:

Adım 1: Görevlerin öncelik ilişkisi olduğu görev sayılarını içeren Liste A'yı oluşturun.

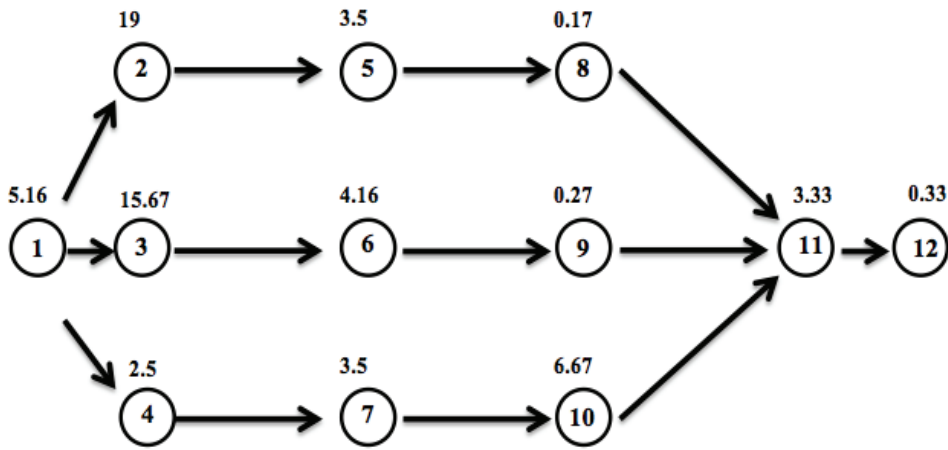
Adım 2: Öncelik ilişkisi sayısı "0" olan görevleri Liste B'ye al.

Adım 3: Liste B'den rastgele bir görev seç ve sıralamaya ekle. Daha sonra bu görevi Liste A'dan sil.

Adım 4: Liste A'daki görevlerin öncelik ilişki sayılarını yeniden hesapla.

Adım 5: Liste A'da atanmayan görev varsa Adım 2'ye git, aksi halde Adım 6 ya git

Adım 6: Sonucu al ve bitir.



Şekil 1. Görevlerin Öncelik İlişkileri ve Süreleri (sa)

1. Görüntüleme merkezi kayıt alımı
2. Görüntüleme merkezinin 1 nolu odasının kuyruğu
3. Görüntüleme merkezinin 2 nolu odasının kuyruğu
4. Görüntüleme merkezinin 3 nolu odasının kuyruğu
5. 1 nolu oda çekimleri
6. 2 nolu oda çekimleri
7. 3 nolu oda çekimleri
8. 1 nolu oda çekim kontrolü
9. 2 nolu oda çekim kontrolü
10. 3 nolu oda çekim kontrolü
11. Kontrol ve Çıkış
12. Raporlama

Yukarıda öncelik ilişkileri ve süreleri belirtilen görevleri COMSOAL yöntemi kullanarak $C=20$ (sa) için dengeleyelim.

1. İterasyon

LİSTE A		LİSTE B	
Görev	Öncelik İlişkisi	Görev	Öncelik İlişki Sayısı
1	0	1*	0
2	1		
3	1		
4	1		
5	2		
6	2		
7	2		
8	3		
9	3		
10	3		
11	10		
12	11		

*Seçim

Liste B'den de görüleceği gibi tek görev vardır. Bu yüzden öncelikli görev olarak 1 numaralı görev seçilmiştir.

2.İterasyon

LİSTE A		LİSTE B	
Görev	Öncelik İlişkisi	Görev	Öncelik İlişki Sayısı
2	0	2	0
3	0	3*	0
4	0	4	0
5	1		
6	1		
7	1		
8	2		
9	2		
10	2		
11	9		
12	10		

*Seçim

İlk görevin atamasından sonra 2. iterasyonda ise Liste B’de üç görev vardır ve birbirlerine üstünlükleri olmadığı için herhangi birisi seçilebilir. Biz 3 nolu göreve atama yaptık.

Sırasıyla 1-3 atanmış olur.

3. İterasyon

LİSTE A		LİSTE B	
Görev	Öncelik İlişkisi	Görev	Öncelik İlişki Sayısı
2	0	2*	0
4	0	4	0
5	1		
6	1		
7	1		
8	2		
9	2		
10	2		
11	9		
12	10		

*Seçim

2. iterasyon sonucunda kalan 2 ve 4 numaralı görevlerinde birbirine üstünlüğü olmadığı için 2 numaralı göreve atanmıştır.

Sıralama ise şu şekilde olmuştur: 1-3-2

4. İterasyon

LİSTE A		LİSTE B	
Görev	Öncelik İlişkisi	Görev	Öncelik İlişki Sayısı
4	0	4*	0
5	1		
6	1		
7	1		
8	2		
9	2		
10	2		
11	9		
12	10		

*Seçim

Kalan 4. görevinde ataması yapılmıştır. Sıralama 1-3-2-4 olmuştur.

5.İterasyon

LİSTE A		LİSTE B	
Görev	Öncelik İlişkisi	Görev	Öncelik İlişki Sayısı
5	0	5	0
6	0	6*	0
7	0	7	0
8	1		
9	1		
10	1		
11	8		
12	9		

*Seçim

5. iterasyon sonucunda ise Liste B’de iki görev kalmıştır. Bunların da birbirlerine üstünlükleri olmadığı için herhangi birisi seçilmiştir.

Sıralama ise 1-3-2-4-6 olmuştur.

6.İterasyon

LİSTE A		LİSTE B	
Görev	Öncelik İlişkisi	Görev	Öncelik İlişki Sayısı
5	0	5*	0
7	0	7	0
8	1		
9	1		
10	1		
11	8		
12	9		

*Seçim

5. iterasyon sonucunda seçilmeyen 5. görev burada seçilmiş ve sıralamaya dahil edilmiştir. 1-3-2-4-6-5

7. İterasyon

LİSTE A		LİSTE B	
Görev	Öncelik İlişkisi	Görev	Öncelik İlişki Sayısı
7	0	7*	0
8	1		
9	1		
10	1		
11	8		
12	9		
		*Seçim	

7. görev seçilmiş ve sıralama şu şekilde olmuştur: 1-3-2-4-6-5-7

8. İterasyon

LİSTE A		LİSTE B	
Görev	Öncelik İlişkisi	Görev	Öncelik İlişki Sayısı
8	0	8*	0
9	0	9	0
10	0	10	0
11	7		
12	8		
		*Seçim	

8 iterasyon sonucunda 8 göreve atama yapılmıştır. Sıralama ise 1-3-2-4-6-5-7-8 şeklindedir.

9. İterasyon

LİSTE A		LİSTE B	
Görev	Öncelik İlişkisi	Görev	Öncelik İlişki Sayısı
9	0	9*	0
10	0	10	0
11	7		
12	8		
		*Seçim	

Sıralama 1-3-2-4-6-5-7-8-9 olmuştur.

10.İterasyon

LİSTE A		LİSTE B	
Görev	Öncelik İlişkisi	Görev	Öncelik İlişki Sayısı
10	0	10*	0
11	7		
12	8	*Seçim	

Sıralama 1-3-2-4-6-5-7-8-9-10 olmuştur.

11.İterasyon

LİSTE A		LİSTE B	
Görev	Öncelik İlişkisi	Görev	Öncelik İlişki Sayısı
11	0	11*	0
12	1	*Seçim	

Sıralama 1-3-2-4-6-5-7-8-9-10-11 olmuştur.

12.İterasyon

LİSTE A		LİSTE B	
Görev	Öncelik İlişkisi	Görev	Öncelik İlişki Sayısı
12	0	12*	0
		*Seçim	

Sıralama 1-3-2-4-6-5-7-8-9-10-11-12 olmuştur.

Görevler için atamalar tamamlandığında istasyonları, istasyon sürelerini ve atıl zamanlarının hesaplanmasına geçilmiştir.

Tablo 2. COMSOAL Yöntemi ile İstasyonlar ve Atıl Zamanları

İstasyon	Görev	Görev Süresi	İst. Süresi	Atıl Zaman
1	1	5,16	5,16	14,84
2	3	15,67	15,67	4,33
3	2	19	19	1
4	4	2,50	2,5	5,9
	6	4,16	6,66	
	5	3,5	10,16	
	7	3,5	13,66	
	8	0,17	13,83	
	9	0,27	14,1	
5	10	6,67	6,67	9,67
	11	3,33	10	
	12	0,33	10,33	
Toplam		64,26	64,26	35,74

Yapılan görev atamaları sonucunda denge kaybı fonksiyonu yazılarak Denklem-10 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Denge\ Kaybı = \frac{s(c) - \sum t}{s(c)} \times 100 = \frac{5(20) - 64,26}{5(20)} \times 100 = \%35,74 \text{ Denklem- 10}$$

IV. Sonuçlar

Hastanelerde ki görüntüleme merkezleri üzerine uygulanan bu çalışma; maliyet, zaman, performans ve kalite gibi konularda sağlık hizmetlerini bir adım daha ileriye taşınmasına yardımcı olunmuştur. Atıl zamanlarda ki azaltılma ile hastanın hastane içerisindeki tüm faaliyetlerini tamamlamasının süresi kısaltılmaya çalışılmıştır. COMSOAL yöntemi ile denge kaybı hesaplanmıştır. Alınan sonuçlara göre 5 istasyon kurulmasıyla iyi çözüme ulaşılmıştır. Buradaki Denge Kaybı ise %35.74 hesaplanmıştır. Burada kullanılan veriler bir istatistiksel program yardımıyla ortalamaları ve sapmaları hesaplanarak anlamlı hale getirilmiştir. Gelecekteki çalışmalar için farklı işlevsel bölümler için sezgisel tekniklerden faydalanılarak daha büyük ölçekli problemler ele alınabilir.

Kaynaklar

- Acar, N., & Eştaş, S. (1986). *Kesikli seri üretim sistemlerinde planlama ve kontrol çalışmaları*: Milli Prodüktivite Merkezi. s. 3-7.
- Ağpak, K., & Gökçen, H. (2005). Assembly line balancing: Two resource constrained cases. *International Journal of Production Economics*, 96(1), s. 129-140. Retrieved from http://ac.els-cdn.com/S0925527304001367/1-s2.0-S0925527304001367-main.pdf?_tid=cad73256-f5c0-11e5-8572-00000aacb35d&acdnat=1459264589_45877a558eb8ec32d98199b6c5a295a7
- Ağpak, K., Gökçen, H., Saray, N. N., & Suna, Ö. (2002). Stokastik görev zamanlı tek modelli u tipi montaj hattı dengeleme problemleri için bir sezgisel. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(4), s. 4-5.
- Ajenblit, D. A., & Wainwright, R. L. (1998). *Applying genetic algorithms to the U-shaped assembly line balancing problem*. Paper presented at the Evolutionary Computation Proceedings, 1998. IEEE World Congress on Computational Intelligence., The 1998 IEEE International Conference on. s. 4-8.
- Bautista, J., & Pereira, J. (2007). Ant algorithms for a time and space constrained assembly line balancing problem. *European journal of operational research*, 177(3), s. 2016-2032. Retrieved from http://ac.els-cdn.com/S0377221705008490/1-s2.0-S0377221705008490-main.pdf?_tid=e149a33e-f5c0-11e5-8cbf-00000aab0f27&acdnat=1459264626_5809c77de24be24fb9c724f96b422dd2
- Benzer, R., Gökçen, H., Cetinyokus, T., & Cerçioğlu, H. (2007). A network model for parallel line balancing problem. *Mathematical Problems in Engineering*, s. 3, 2007.
- Dekkers, R. (2005). *(R) Evolution: Organizations and the Dynamics of the Environment*: Springer Science & Business Media, s. 3.
- Dekkers, R. (2006). Engineering management and the order entry point. *International Journal of Production Research*, s. 44(18-19), s. 4011-4025. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00207540600696328>
- Erel, E., Sabuncuoğlu, I., & Aksu, B. (2001). Balancing of U-type assembly systems using simulated annealing. *International Journal of Production Research*,. 39(13), s. 3003-3015. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00207540110051905>
- Gökçen, H., & Ağpak, K. (2006). A goal programming approach to simple U-line balancing problem. *European journal of operational research*, 171(2), s. 577-585. Retrieved from http://ac.els-cdn.com/S0377221704006460/1-s2.0-S0377221704006460-main.pdf?_tid=3c77d366-f5c1-11e5-8244-00000aacb360&acdnat=1459264779_ed87ab66539b8ff94ae8bfba03bc9711

- Grabau, M. (2011). Yalın Hastane. *çeviren: Pınar Şengözer*, Optimist Yayınları. s. 103.
- Guerriero, F., & Miltenburg, J. (2003). The stochastic U-line balancing problem. *Naval Research Logistics (NRL)*, 50(1), s. 31-57.
- Gunther, R. E., Johnson, G. D., & Peterson, R. S. (1983). Currently practiced formulations for the assembly line balance problem. *Journal of Operations Management*, 3(4), s. 209-221.
- Held, M., Karp, R. M., & Shareshian, R. (1963). Assembly-line balancing-dynamic programming with precedence constraints. *Operations Research*, 11(3), s. 442-459.
- Hinckeldeyn, J., Dekkers, R., Altfeld, N., & Kreutzfeldt, J. (2014). Expanding bottleneck management from manufacturing to product design and engineering processes. *Computers & Industrial Engineering*, 76, s. 415-428.
- Jackson, J. R. (1956). A computing procedure for a line balancing problem. *Management Science*, 2(3), s. 261-271.
- Johnson, R. V. (1981). Assembly line balancing algorithms: Computation comparisons. *The International Journal Of Production Research*, 19(3), s. 277-287. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207548108956654>
- Kalender, F., Yılmaz, M., & Türkbey, O. (2008). Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Bir Yaklaşım. *Journal of Faculty of Engineering and Architecture, Gazi University*, 23(1), s. 129-138.
- Kao, E. P. (1976). A preference order dynamic program for stochastic assembly line balancing. *Management Science*, 22(10), s. 1097-1104.
- Kao, E. P. (1979). Computational experience with a stochastic assembly line balancing algorithm. *Computers & Operations Research*, 6(2), s. 79-86.
- Kao, E. P., & Queyranne, M. (1982). On dynamic programming methods for assembly line balancing. *Operations Research*, 30(2), s. 375-390.
- Kılınçcı, Ö. (2004). Basit Montaj Hattı Dengeleme Problemi Çözümü için Bir Petri Ağı Yaklaşımı, DEÜ Mühendislik Fakültesi. *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(2), s. 1-15.
- Kim, Y. K., Kim, Y., & Kim, Y. J. (2000). Two-sided assembly line balancing: a genetic algorithm approach. *Production Planning & Control*, 11(1), s. 44-53. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/095372800232478>
- Klein, M. (1963). On assembly line balancing. *Operations Research*, 11(2), s. 274-281.
- Lapierre, S. D., Ruiz, A., & Soriano, P. (2006). Balancing assembly lines with tabu search. *European journal of operational research*, 168(3), s. 826-837.

- Retrieved from http://ac.els-cdn.com/S0377221704004886/1-s2.0-S0377221704004886-main.pdf?_tid=f06ebee-f5c0-11e5-9e80-0000aab0f02&acdnat=1459264652_bc7cd8ebd0321275ece867b8d9e83961
- McMullen, P. R., & Frazier, G. (1998). Using simulated annealing to solve a multiobjective assembly line balancing problem with parallel workstations. *International Journal of Production Research*, 36(10), s. 2717-2741. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/002075498192454>
- Meyers, F. E., & Stephens, M. P. (2005). *Manufacturing facilities design and material handling*: Prentice Hall. s. 1-8.
- Miltenburg, G., & Wijngaard, J. (1994). The U-line line balancing problem. *Management Science*, 40(10), s. 1378-1388.
- Miltenburg, J. (1998). Balancing U-lines in a multiple U-line facility. *European journal of operational research*, 109(1), s. 1-23.
- Moodie, C. L. (1964). A Heuristic Method of Assembly Line Balancing for Assumptions of Constant or Variable Work Element Times. s. 1-7.
- Nahmias, S. (1997). *Production and operations management*. Irwin, Chicago. s. 2-4.
- Nakade, K., Ohno, K., & Shanthikumar, J. G. (1997). Bounds and approximations for cycle times of a U-shaped production line. *Operations Research Letters*, 21(4), s. 191-200.
- Nkasu, M., & Leung, K. (1995). A stochastic approach to assembly line balancing. *The International Journal Of Production Research*, 33(4), s. 975-991. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207549508930189>
- Patterson, J. H., & Albracht, J. J. (1975). Technical note — Assembly-line balancing: Zero-one programming with Fibonacci Search. *Operations Research*, 23(1), s. 166-172.
- Sabuncuoglu, I., Erel, E., & Tanyer, M. (2000). Assembly line balancing using genetic algorithms. *Journal of intelligent manufacturing*, 11(3), s. 295-310. Retrieved from http://download.springer.com/static/pdf/726/art%3A10.1023%2FA%3A1008923410076.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.1023%2FA%3A1008923410076&token2=exp=1459265638~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F726%2Fart%3A10.1023%2FA%3A1008923410076.pdf%3ForiginUrl%3Dhttp%3A%2F%2Flink.springer.com%2Farticle%2F10.1023%2FA%3A1008923410076*~hmac=52aec0d38ac8dd8f82988a05556d8eb8507e4b0cac7dc370c1d4b161990c18e6
- Scholl, A., & Klein, R. (1999). ULINO: Optimally balancing U-shaped JIT assembly lines. *International Journal of Production Research*, 37(4), s. 721-736. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/002075499191481>

- Sniedovich, M. (1981). Analysis of a preference order assembly line problem. *Management Science*, 27(9), s. 1067-1080.
- Suresh, G., & Sahu, S. (1994). Stochastic assembly line balancing using simulated annealing. *The International Journal Of Production Research*, 32(8), s. 1801-1810. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207549408957042>
- Tanyaş, M., & Baskak, M. (2003). *Üretim planlama ve kontrol*: İrfan Yayımcılık. s. 10-25.
- Urban, T. L. (1998). Note. Optimal balancing of U-shaped assembly lines. *Management Science*, 44(5), s. 738-741.
- Urban, T. L., & Chiang, W.-C. (2006). An optimal piecewise-linear program for the U-line balancing problem with stochastic task times. *European journal of operational research*, 168(3), s. 771-782. Retrieved from http://ac.els-cdn.com/S0377221704004849/1-s2.0-S0377221704004849-main.pdf?_tid=38e83dc6-f5c1-11e5-97a6-00000aacb360&acdnat=1459264773_8b0242514841bd9e7e5a22ffa4bb7f67