



Bulanık İşlem Zamanlı Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Problemi İçin Yeni Bir Yaklaşım: Savunma Sanayii Uygulaması

A New Approach to Traditional Assembly Line Balancing Problem with Fuzzy Operation Time: Defence Industry Application

Ahmet DOĞAN¹, Ümit Sami SAKALLI²

¹Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 06530, Yüzcüciyıl, ANKARA

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 71450 KIRIKKALE

Başvuru/Received: 23/10/2015

Kabul/Accepted: 14/12/2015

Son Versiyon/Final Version: 15/01/2016

Öz

Montaj hattı dengeleme problemi, üzerinde en çok çalışılan Endüstri Mühendisliği problemlerinden biridir. Literatür incelendiğinde hat yerleşimine, dengeleme amacına ve görev sürelerinin durumuna göre çeşitli montaj hattı dengeleme problemleri üzerinde akademik çalışmalar yapılmış olmakla birlikte, bu alandaki çalışmaların Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Problemi üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu makalede de görev sürelerinin bulanık olduğu varsayımı altında geleneksel montaj hattı dengeleme problemi için bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma, savunma sanayinde faaliyet gösteren bir fabrikada uygulanmış, bulanık sayıların farklı durumları için elde edilen optimum atama sonuçları, yöneticiye en doğru kararı verebilmesi açısından özet olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler

“Montaj Hattı Dengeleme, Bulanık Küme, Modelleme”

Abstract

Assembly line balancing problem is one of the most studied Industrial Engineering problems. Although the academic publications of this issue have generally focused on traditional assembly line balancing problem, there are a lot of works on according to different line placements, balancing aim and the operation times' various situations. Also in this study, an algorithm has been developed to solve the traditional assembly line balancing problem with fuzzy operation time. The algorithm applied on step by step an assembly line in a factory which is in the defense industry. The optimum assigning results that obtained from various situations of fuzzy numbers presented for making decision correctly.

Key Words

“Assembly Line Balancing, Fuzzy Sets, Modelling”

1. GİRİŞ

Nihai bir ürün için uzun dönemler boyunca büyük miktarlarda siparişler söz konusu olduğunda, bu ürüne özel bir yerleşim yapmak, çoğu durumda firmalar için daha ekonomik ve mantıklı olabilmektedir. Ürüne göre yerleşim sistemlerinin özel bir hali olan montaj hatları, bir işin bölünemez en küçük hali olan görevlerin, aralarındaki öncelik ilişkilerine göre art arda sıralandıkları ve istasyonlar arasında belirli bir sürede transfer edildikleri, hammadde veya bir yarı mamulün hattın sonundan nihai ürün olarak çıktığı bir sistemdir. Bir montaj hattının temel amacı, ürüne olan büyük miktarlardaki taleplerin, en ekonomik ve hızlı şekilde karşılanmasıdır.

Montaj hatlarıyla ilgili en önemli sorun hattın uygun bir metot ile dengelenmesidir. Montaj hattı dengeleme (MHD); görevlerin, öncelik ilişkileri dikkate alınarak belirli bir çevrim süresini aşmayacak ve istasyon boş zamanlarını en küçükleyecek şekilde iş istasyonlarına atanmasıdır. Dengede olmayan bir montaj hattı, denge kayıplarının fazla olması ve darboğazların oluşması nedeniyle kuruluş amacı olan etkin, ekonomik ve hızlı üretim yapabilme olgusuyla ters düşebilmektedir.

Montaj hattı dengeleme problemleri (MHDP), NP-Hard yapıda problemler oldukları için, görev sayısı veya öncelik ilişkilerinde meydana gelebilecek her artış, çözüm uzayını üstel olarak arttırmakta ve dolayısıyla optimum dengeyi bulmak zorlaşmaktadır. Ancak günümüz bilgisayarlarının saniyedeki işlem yapabilme kapasitelerinin, bu alandaki akademik çalışmaların başladığı dönemlere kıyasla olağanüstü arttığını düşünürsek, sadeleştirilmiş bir model yardımıyla gerçek hayattaki bir çok montaj hattı dengeleme problemi için makul bir süre içerisinde optimum sonuçlara ulaşmak mümkün olabilmektedir.

Literatüre bakıldığında montaj hattı dengeleme problemlerinin 1954'te Bryton tarafından analitik olarak ilk defa ele alındığından bugüne sayısız çalışma yapıldığı ve halen de bu problem tipinin popüleritesini koruduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalara bakıldığında montaj hattı dengeleme problemlerinin, genel olarak çevrim zamanının verilip istasyon sayısının en küçüklenmesinin istendiği tip-1 ve istasyon sayısının verilip çevrim süresinin minimize edilmek istendiği tip-2 montaj hattı dengeleme problemi olarak iki temel sınıfa ayrılmaktadır. Bunun dışında ürün sayısına göre; tek modelli, çok modelli ve karma modelli olarak üç grupta, yerleşim tipine göre düz, U-tipi, paralel ve dairesel olarak dört grupta ve görev sürelerine göre ise işlem sürelerinin önceden bilinen standart süreler olduğu deterministik, sürelerin belirli bir olasılık dağılımına dayandığı stokastik ve son olarak da bulanık mantık kavramının yaygınlaşmasıyla birlikte sıkça karşımıza çıkmaya başlayan sürelerin bulanık olduğu durumlara göre montaj hattı dengeleme problemlerini üç grupta incelemek mümkündür.

Bu çalışmada görev sürelerinin bulanık olduğu tip-2 geleneksel montaj hattı dengeleme probleminin (GMHDP) çözümü için bir algoritma geliştirilmiş ve savunma sanayiinde faaliyet gösteren bir fabrikanın montaj atölyesindeki hat üzerinde uygulanmıştır. İkinci bölümde literatür incelemesi, üçüncü bölümde geleneksel montaj hattı dengeleme problemi için bulanık mantık yaklaşımı, dördüncü bölümde geliştirilen algoritma, beşinci bölümde önerilen algoritmanın uygulaması, altıncı ve son bölümde ise elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yer almaktadır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Montaj hattı dengeleme problemi, Endüstri Mühendisliği ve Yöneylem Araştırması'nda üzerinde en çok çalışılan konulardan birisidir. Literatürde bilinen ilk çalışma 1954'te Bryton tarafından yapılmıştır. O günden bugüne kadar sayısız bilimsel çalışma yayınlanmıştır.

Literatüre bakıldığında bu alandaki çalışmalar çok farklı gruplamalar altında değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada literatür incelemesi üç ana başlık altında yapılmıştır. Bunlar deterministik, stokastik ve bulanık montaj hattı dengeleme problemi literatür incelemesidir. Her grupta bulunan önemli yayınlara, kronolojik sıraya uygun olarak yer verilmiştir. Konu ile ilgili en çok çalışma deterministik MHD problemi ile ilgili yapılmakla birlikte daha kompleks yapıda olmasından dolayı en az çalışma ise bulanık MHD problemi üzerine yapılmıştır.

2.1 Deterministik Montaj Hattı Dengeleme Literatür İncelemesi

Bryton montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için ilk analitik yaklaşımı geliştirmiştir. Bütün öğeler deterministik olarak düşünülmüştür. İş istasyonları sayısını sabit kabul ederek, çevrim zamanını minimize etmeyi öngören bir sezgisel geliştirmiştir. Daha sonraki çalışmalar için temel niteliği taşımaktadır.

Salveson montaj hattı dengeleme problemini tamsayı doğrusal programlamayla modellemiştir. Modelin amaç fonksiyonu, çevrim zamanını sabit kabul ederek, istasyon sayısını ve istasyonlar arası boş zamanların minimizasyonunu amaçlamaktadır. Çevrim zamanı ve işlem zamanları deterministik olarak ele alınmıştır.

Bowman montaj hattı dengeleme problemini, 0-1 tamsayı doğrusal programlama şeklinde formüle etmiştir. Literatürde MHD problemine tam sayılı doğrusal programlama yaklaşımını uygulayan ilk akademisyen olmuştur. Bu yaklaşım sayesinde görevlerin, istasyonlar arasında bölünme olasılığı ortadan kaldırılmıştır. Çevrim zamanı ve işlem zamanları deterministik olarak düşünülen bu çalışmada istasyon sayısının minimizasyonu hedeflenmiştir.

Kilbridge ve Wester yaptıkları çalışmada işlem zamanları ve çevrim zamanını deterministik olarak ele almışlardır. Geliştirdikleri metot, sonraki zamanlarda birçok çalışmada kullanılmıştır. Bu metoda göre, iş elemanları öncelik ilişkilerine bağlı kalınarak

gruplandırılır, bir istasyon sayısı ve çevrim zamanı belirlenir ve geliştirilen algoritmanın aşamalarına göre bir çözüm bulunur. Daha sonra farklı çevrim zamanlarına göre alternatif çözümler bulunur ve en az denge kaybının olduğu alternatif tercih edilir.

Klien bu çalışmada montaj hattı dengeleme problemini, literatürde ilk defa en kısa yol (shortest-route) algoritmasıyla çözmeye çalışmıştır.

Thangavelu ve Shetty tek modelli montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için, 0-1 tamsayılı doğrusal programlama metodu önermişler ve Bowman'ın çalışmasını bir adım ileriye taşımışlardır.

Patterson ve Albracht tek modelli montaj hattı dengeleme problemini için, oldukça etkili bir matematiksel formülasyon geliştirmişlerdir. Bu çalışmada amaç fonksiyonu olarak, verilen bir çevrim zamanına göre istasyon sayısının minimizasyonu ele alınmıştır. Ayrıca akademisyenler, çözüm prosedürü için bir Fibonacci Search prosedürü geliştirmişlerdir.

Pinto, Dannenbring ve Khumawala görevlerin paralel olduğu durumları içeren, işlem zamanlarının ve çevrim süresinin deterministik olduğu montaj hattı dengeleme problemleri için bir tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Çözüm için dal – sınır algoritmasını kullanmışlardır.

Talbot ve Patterson tek model montaj hattı dengeleme problemleri için bir tamsayılı programlama algoritması geliştirmişlerdir. Bu çalışmada da bütün elemanlar deterministik olarak ele alınmıştır. Bu model, iş öğelerinin, iş istasyonlarına öncelik diyagramındaki ilişkileri bozmayacak şekilde atanmasını ve bir istasyona atanan elemanların toplam süresinin, çevrim zamanından daha büyük olmayacağını garanti eder. Bu çalışma, geliştirdiği matematiksel model ile kendinden sonraki çalışmalara da ışık tutmuştur.

Johnson büyük ölçekli montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için FABLE (Fast Algorithms for Balancing Lines Effectively) adını verdiği ve optimal çözümü veren bir algoritma önermiştir. Algoritmanın temeli dal – sınır tekniğine dayanmaktadır ve öncelikle derinlik kuralına göre çalışır.

Hoffman yine dal – sınır tekniğine dayalı, belirli boyutlardaki problemler için optimal sonucu garanti eden bir montaj hattı dengeleme çalışmasıdır. İşlem zamanları ve çevrim süresinin deterministik olarak ele alındığı bu çalışmada, EURAKA adı verilen bir algoritma önerilmiştir.

Scholl ve Klein tek modelli ve deterministik montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için SALOME adını verdikleri ve yine dal – sınır tekniğine dayalı, optimal sonuç veren bir algoritma önermişlerdir. Klasik dal- sınır yönteminden farklı olarak çift yönlü istikamette arama yapan bir yöntemdir.

Gökçen ve Erel karma modelli montaj hattı dengeleme problemleri için, en kısa yol metoduna dayalı bir algoritma önermişlerdir. İşlem zamanları ve çevrim süresi deterministik olarak ele alınmıştır.

Sabuncuoğlu ve diğ. tek modelli montaj hattı dengeleme problemi için bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Ayrıca dinamik bölümlenme adında bir modifiye kromozom yapısı geliştirerek, bilgisayar çözüm zamanını kısaltmayı hedeflemişlerdir.

Stockton ve diğ. tip-1 yani çevrim süresinin verilir istasyon sayısının minimize edilmek istendiği deterministik montaj hattı dengeleme problemleri için, bir genetik algoritma geliştirmişler ve bu algoritmanın performansını geleneksel bir yöntem olan RPW ile kıyaslamışlardır.

Bukchin ve Rubinowitch karma modelli montaj hattı dengeleme problemlerinde, istasyon maliyetlerini minimize etmeyi hedefleyen ve dal – sınır tekniğine dayalı optimal bir algoritma geliştirmişlerdir.

2.2 Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Literatür İncelemesi

Moodie ve Young stokastik zamanlı montaj hattı dengeleme alanındaki ilk çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada işlem zamanlarının normal dağılıma uyduğu varsayılır, çevrim zamanı ise sabittir.

Mansoor ve Ben-Tuvia yaptıkları çalışmada görev zamanlarının normal dağılıma uyduğunu kabul etmişlerdir. İstasyon sayısının belirli olduğu durumlar için, çevrim zamanının minimizasyonu amaçlanmıştır.

Arcus hem stokastik hem de deterministik işlem zamanları olduğu durumlarda kullanılabilen COMSOAL (computer method of sequencing for assembly lines) adını verdiği tekniği geliştirmiştir. Çevrim zamanını geçmeyecek şekilde, atanması uygun olan işler atanır ve alternatif çözümler oluşur. Bütün alternatifler bittiğinde, en az denge kaybını veren alternatif seçilir.

Kao operasyon zamanlarının; poisson, gamma, binom veya negatif binom dağılımına göre belirlendiği stokastik montaj hattı dengeleme problemleri için bir dinamik programlama yaklaşımı geliştirmiştir.

Sculli sistemin ilk tasarımından sonra, değişen koşullara uyum sağlayabilecek şekilde hattın yeniden dengelenmesine yönelik dinamik bir yaklaşım geliştirmiştir.

Driscoll ve Abdel-Shafi değişen şartlar altında hattın performansını inceleyebilmek için, simülasyon temelli bir montaj hattı dengeleme yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemde operasyonlar, RPW tekniğine göre yani pozisyon ağırlığı büyük olandan küçük olana doğru sıralanırlar. Operasyon zamanlarının normal dağılıma uyduğu varsayımı altında, probleme çözüm aranmıştır.

Betts ve Mahmoud stokastik zamanlı hat dengeleme problemi için, sınırların öncelik matrisine göre belirlendiği bir dal-sınır tekniği geliştirmişlerdir. Bu yaklaşım sayesinde, belirli boyutlardaki problemler için optimal çözüme ulaşılabilmektedir.

Nkasu ve Leung stokastik montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için, COMSOAL tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yöntemde ilk önce hattın stokastik durumları simüle edilir ve daha sonra da COMSOAL yönteminin modifiye edilmiş bir versiyonuyla, alternatif hat yerleşimleri belirlenir. Denge kaybının en az olduğu yerleşim seçilir.

Suresh ve diğ. işlem zamanlarının stokastik olduğu tek modellenmiş montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için bir genetik algoritma kullanmışlardır. İki popülasyon ile çalışan bir GA geliştirmişlerdir.

Ağpak ve Gökçen operasyon zamanlarının normal dağılımla ifade edildiği U tipi montaj hatlarının dengelenmesine yönelik bir yöntem geliştirmişlerdir. Arcus'un COMSOAL yöntemini baz almışlardır. Bu metot, her istasyon için yönetim tarafından belirlenen güvenlik seviyesi kısıtı altında görevlerin, istasyon sayısı minimum olacak şekilde atanmalarını amaçlamaktadır.

Liu ve Huang tek modellenmiş stokastik montaj hattı problemini istasyon sayısının verilip çevrim süresinin minimum olması durumuna göre çözmeyi hedefleyen bir sezgisel geliştirmişlerdir.

2.3 Bulanık Montaj Hattı Dengeleme Literatür İncelemesi

Tsujimura ve diğ. bulanık montaj hattı dengeleme problemleriyle ilgili literatürde bilinen ilk çalışmayı yapmışlardır. Operasyon zamanları ve çevrim zamanı bulanık olarak düşünülmüş ve üçgensel bulanık operasyon zamanlarının kullanıldığı bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Denge gecikmesi, amaç fonksiyonu olarak alınmıştır.

Tsujimura ve diğ. yaptıkları çalışmada, genetik algoritmanın bulanık MHDP'lerdeki kullanımını detaylandırmış ve örneklerle desteklemişlerdir. Bir önceki çalışmadaki matematiksel formülasyonun aynısı kullanılmış; sadece programdaki birkaç parametrede değişiklik yapılmıştır.

Chutima ve Yiangkamolsing yaptıkları çalışmada karışık modellenmiş montaj hattı dengeleme problemini bulanık görev zamanlı olarak ele almışlardır. Problemin çözümü için genetik algoritma geliştirmişlerdir.

Khoshalhan ve Zegordi montaj hattı dengeleme probleminin her iki modeli (tip-1 ve tip-2) için de görev zamanlarının bulanık olduğu varsayımıyla bir çalışma yapmışlardır. Çözüm yöntemi olarak bir genetik algoritma geliştirmişlerdir.

Brudaru ve Valmar işlem sürelerini bulanık sayılar olarak ele almışlar ve bir metot geliştirmişlerdir. Bu melez metot Dal-Sınır yöntemi ile GA'yı birleştirmektedir.

Fonseca ve diğ. yaptıkları çalışmada görev zamanlarını bulanık olarak ele almışlardır. Stokastik montaj hattı dengeleme probleminin modellenmesi ve çözülmesi için uygulanabilir alternatif bir yöntem olarak bulanık küme teorisini kullanmışlardır. Bu çalışmada görüldüğü gibi geçmişe ait yeterli veri bulunmadığı durumlarda stokastiklik yerine bulanık küme teorisi kullanılabilir. Bu çalışmada görüldüğü gibi geçmişe ait yeterli veri bulunmadığı durumlarda stokastiklik yerine bulanık küme teorisi kullanılabilir.

Hop bulanık işlem zamanlı montaj hattı dengeleme problemi için, bulanık ikili doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Bu model yardımıyla, 50 göreve kadar optimal sonuç alınabilmektedir.

Kalender ve diğ. yaptıkları çalışmada, bulanık operasyon zamanlı geleneksel montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen çözüm algoritması Java programlama dili ile kodlanmış ve bir fabrikada test edilerek yeni hattın dengelenmesi sağlanmıştır.

Xu ve Xiao yaptıkları çalışmada karışık modellenmiş montaj hattı dengeleme problemini bulanık işlem zamanlı olarak ele almışlar ve bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Operasyonların kaydırılabilir olduğu varsayımı altında problemi çözme denemeleri ve amaç fonksiyonu olarak da total zamanın minimizasyonunu kullanmışlardır.

Kara ve diğ. yaptıkları çalışmada tek modellenmiş ve U-tipi montaj hattı dengeleme problemi, ikili bulanık amaç programlama yöntemiyle ele almışlardır. Chang tarafından 2007 yılında öne sürülen algoritma üzerine bazı modifikasyonlar yapılmıştır. İstasyon sayısı ve çevrim zamanını bulanık olarak değerlendirilmiştir.

Tapkan ve diğ. tarafından yapılan bu çalışmada, paralel montaj hattı dengeleme problemi, işçilerin pozisyonu alan ve görev kısıtları açısından daha gerçekçi olarak ele alınmıştır. Bulanık amaç programlama yardımıyla, çalışma ve hat etkinliği indeksleri maksimize, denge kaybı ise minimize edilmeye çalışılmıştır.

Baykasoğlu ve diğ. tarafından yapılan bu çalışmada, daha gerçekçi olması amacıyla, bulanık parametreler ile paralel montaj hattı dengeleme problemi ele alınmıştır.

Adham ve Tahar yaptıkları çalışmada, bir otomotiv endüstrisinde mevcut olan montaj hattının etkinliği ve istasyonlar arası denge kayıplarının minimizasyonu amaçlamışlardır. Bunu gerçekleştirebilmek için de MOGA adını verdikleri Multi Objective Genetic Algorithm (çok amaçlı Genetik Algoritma) geliştirmişlerdir.

Zacharia ve Nearchou tarafından yapılan bu çalışmada, işlem zamanları, gerçek hayat problemlerine uygun olması amacıyla üçgensel bulanık sayılar olarak ele alınmıştır. Birden fazla amaç bulunmaktadır. Birincisi, çevrim zamanını ve düzgünlük indeksini minimize etmek; ikincisi ise çevrim zamanı ile her istasyonun bulanık denge gecikmesini minimize etmek ve böylece maliyetleri enazlamaktır.

Hazır ve Dolgui tarafından yapılan çalışmada, montaj hattı dengeleme problemi çeşitli belirsizlikler (bulanık) altında ele alınmıştır. Problemin çözümü için optimum sonucu verecek bir model geliştirmişlerdir.

Zacharia ve Nearchou tarafından yapılan çalışmada; tek modellenmiş, bulanık operasyon zamanlı bir montaj hattı için Genetik Algoritma tabanlı bir meta-heuristic yöntem geliştirilmiştir. Hattın etkinlik indeksinin maksimize edilmesi, amaç fonksiyonu olarak kabul edilmiştir.

3. GELENEKSEL MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ (TİP-2) İÇİN BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI

Çeşitli kısıtlar ve kısıtlamalar (alan kısıtları, konumsal kısıtlamalar vb.), stokastik veya bulanık görev zamanları modele eklendiği zaman, montaj hattı dengeleme problemi geleneksel montaj hattı dengeleme problemine dönüşmektedir ve bu problem, amaç fonksiyonuna göre iki gruba ayrılmaktadır: çevrim süresinin veriliş istasyon sayısının minimize edildiği tip-1 ve istasyon sayısının veriliş çevrim süresinin minimize edildiği tip-2 GMHDP'dir.

Geleneksel montaj hattı dengeleme probleminin varsayımlarından en önemlisi sürelerin (görev süreleri ve çevrim süresi) önceden tanımlı olmasıdır. Ancak üretim sistemlerini düşündüğümüz zaman özellikle insan faktörünün yoğun olduğu sistemlerde, görev süreleri için deterministik yaklaşımın çoğunlukla gerçekçi olmadığı görülmektedir. Özellikle montaj işleminde birden çok parçanın birleştirilmesi unsuru, parçaların tolerans değerlerine göre kısa sürede veya çok uzun sürede gerçekleşmektedir. Şöyle ki; farklı atölyelerden alt tolerans, tam veya üst tolerans değerlerine göre işlenmiş parçaların birleştirilmesi işleminin süreleri, uygulamalarda ve zaman etütlerinde göstermiştir ki minimum süre, standart süre veya maksimum süre gibi üçgensel olarak gerçekleşmektedir. Bunun haricinde çoğu operasyonun insan faktöründen kaynaklı (motivasyon ve performans kayıpları, iş arkadaşlarıyla muhabbet vb.) yine hep aynı standart süre çerçevesinde tamamlanamadığı görülmektedir.

Yukarıda bahsedilen unsurlar çerçevesinde, bir montaj hattında bulunan görevlerin hepsi deterministik sürelerle ifade edilemeyebilir ve uzun tecrübeler sonucunda bazı operasyonların sistem dışı etkenlerden dolayı asla standartlaştırılmadığı ve genellikle de üçgensel sayılar çerçevesinde gerçekleştiği değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, mevcut ve teknolojik sebeplerden dolayı teçhizatın tamamen değiştirilmesi mümkün olmayan, uzun tecrübeler sonucunda standart süreleri belirlenemeyen ve üçgensel bulanık sayı olarak alınan operasyonlar ile tamamlanma süreleri deterministik olarak belirlenebilen görevlerden oluşan bir montaj hattı için minimum çevrim süresinin amaçlandığı (tip-2) GMHDP bulanık mantık çerçevesinde ele alınarak, karar vericiye en uygun yerleşim alternatifleri sunulacaktır.

3.1 Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Problemi Tip-2 Modeli

Montaj hattı dengeleme ile ilgili literatüre bakıldığı zaman 0-1 tam sayılı programlama modeli olarak Bowman, White, Thangavelu ve Shetty ve Patterson ve Albracht tarafından geliştirilen modeller mevcuttur. Bunlardan Patterson ve Albracht tarafından geliştirilen metot, kendisinden sonra yapılan çalışmalara da ışık tutmuştur. Yazarlar, tip-1 ve tip-2 MHDP için iki model önermişlerdir. **Tip-2** MHDP için önerilen model aşağıda yer almaktadır:

$$\text{Min } Z = C \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} = 1 \quad i=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n t_i \cdot x_{ik} \leq C \quad j=1, 2, \dots, k \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K k \cdot x_{jk} - \sum_{k=1}^K k \cdot x_{ik} \geq 0 \quad \forall (i,j) \in P \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i=1, \dots, n \text{ ve } j=1, \dots, k \quad (5)$$

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & i \text{ görevi } k \text{ istasyonuna atanmış ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad \text{tüm } i=1, 2, \dots, n \text{ ve } j \in W \quad (6)$$

n: görevlerin sayısı

t_i : i görevinin operasyon süresi

K: istasyon sayısı

W: istasyonlar kümesi

P: öncelik ilişkileri kümesi

C: çevrim süresi

Bunlara ilave olarak, iki görevin mutlaka aynı istasyonda veya farklı istasyonlarda yapılması gerekiyorsa bölgeleme kısıtları modele ilave edilebilir. Aynı istasyonda yapılması gereken iki görev için pozitif bölgeleme kısıtı Eşitlik (7)'de ve farklı istasyonlarda yapılması gereken iki görev için negatif bölgeleme kısıtı Eşitlik (8)'de gösterilmektedir:

$$\sum_{k=1}^K k \times x_{jk} - \sum_{k=1}^K k \times x_{ik} = 0 \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^K k \times x_{jk} - \sum_{k=1}^K k \times x_{ik} \geq 1 \quad (8)$$

3.2 Operasyon Zamanları Bulanık Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Problemi Tip-2 Modeli

Gerçek bir montaj hattında bütün parametrelerin kesin olarak bilinmesi mümkün olamayabilir. Birçok etkenden dolayı montaj hattı ile ilgili değişkenler özellikle de görev süreleri değişkenlik gösterebilmektedir. Böyle durumlarda bulanık mantık yaklaşımı, görev

süreleri veya diğer parametreler için oldukça uygun ve gerçeğe yakın sonuçlar verebilmektedir. Burada dengelemesi yapılacak olan montaj hattında yer alan görevlere ait sürelerin bir kısmının bulanık olduğu, diğer kısmının ise deterministik olduğu, problemdeki diğer parametrelerin de önceden bilinen değerler olduğu varsayımı ile önceki bölümde belirtilen GMHDP tip-2 modeli yeniden düzenlenmiştir. Burada en önemli farklılık, çevrim süresi kısıtında görev sürelerini belirten t_i değişkeninin bulanık olup \tilde{t}_i şeklinde ifade edilmesidir. Söz konusu model aşağıda yer almaktadır:

$$\text{Min } Z = \text{Çevrim_Süresi} \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} = 1 \quad i=1, 2, \dots, n \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n \tilde{t}_i \cdot x_{ik} \leq \text{Çevrim_Süresi} \quad j=1, 2, \dots, k \quad (11)$$

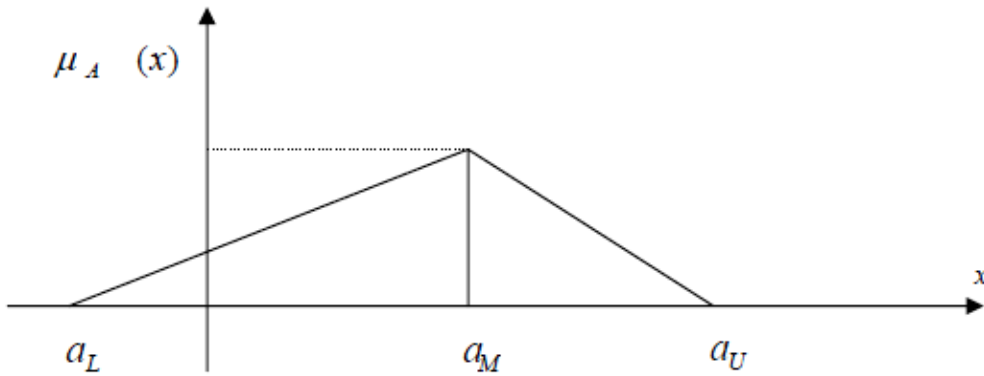
$$\sum_{k=1}^K k \cdot x_{jk} - \sum_{k=1}^K k \cdot x_{ik} \geq 0 \quad \forall (i,j) \in P \quad (12)$$

$$\forall (x_{i,j}) = 0, 1 \quad (13)$$

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & i \text{ görevi } k \text{ istasyonuna atanmış ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad \text{tüm } i=1, 2, \dots, n \text{ ve } j \in W \quad (14)$$

3.3 Bulanık Sayıların Derecelendirilmesi

Bulanık mantık yaklaşımının amacı, verileri belirsiz ve kesin olmayan ya da çok sayıda veriye ulaşılması neredeyse imkansız olan problemler için daha gerçekçi modeller oluşturabilmektedir. Literatüre bakıldığında, bulanık küme teorisinin uygulanmasına dair karşılaşılan en büyük problem, bir doğrusal programlama modelinde bulanık sayıların ne şekilde yer alacağıdır. Bunun çözümü için akademisyenler genel olarak 2000 yılında Chen ve Hsieh tarafından geliştirilen derecelendirilmiş ortalama birleşim sunum metodunu (DOBS) (the graded mean integration representation method) kullanırlar. Şekil 1'de üçgensel sayıların grafiksel gösterimi yer almaktadır:



Şekil 1. \tilde{A} Üçgensel Bulanık Sayısının Grafiksel Gösterimi (Graphical Representation of Triangular Fuzzy Number \tilde{A})

- a_L : iyimser (optimistic)
- a_M : en muhtemel (most probable)
- a_U : kötümser (pessimistic)

Derecelendirilmiş ortalama birleşim sunum metodu (DOBS) temel alındığında, üçgensel bulanık sayı kümesi $\tilde{A} = (l,m,u)$ için derecelendirme ve sunum değeri Eşitlik 15'teki gibi hesaplanmaktadır:

$$R(A_i) = \frac{l+4m+u}{6} \quad (15)$$

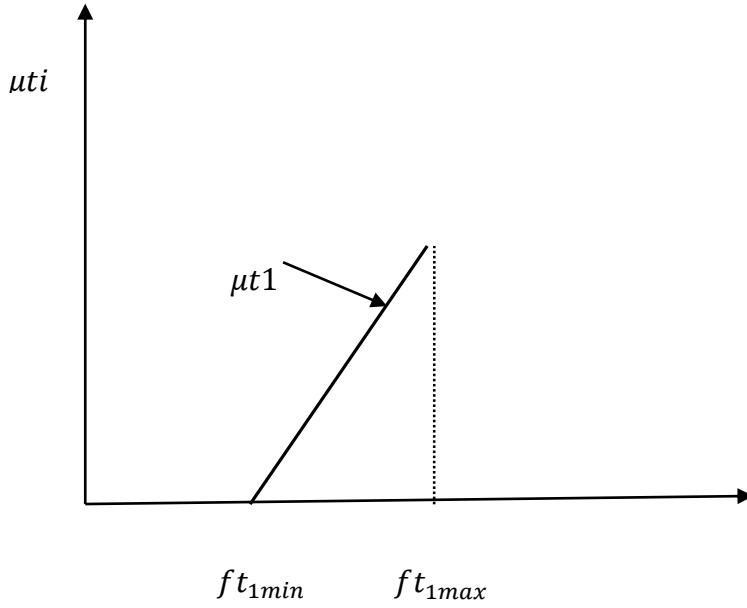
3.4 Üyelik Fonksiyonu

Bulanık bir sayı, alabileceği maksimum ve minimum değerler arasında aşağıda tanımlanan üyelik fonksiyonuna göre değerler alır:

ft_{1min} = iyimser tahmin (her şey yolunda giderse)

ft_{1max} = kötümser tahmin (her şey ters giderse)

Şekil 2de \tilde{t}_1 bulanık sayısına ait üyelik fonksiyonu görülmektedir.



Şekil 2. \tilde{t}_1 Bulanık Sayısına Ait Üyelik Fonksiyonu (The Membership Function of \tilde{t}_1 Fuzzy Number)

\tilde{t}_1 bulanık sayısına ait üyelik fonksiyonu, Eşitlik 16'da gösterilmektedir.

$$\mu_{t_1}(ft_1) = \begin{cases} 0, & ft_1 \leq ft_{1min} \\ \frac{(ft_1 - ft_{1min})}{(ft_{1max} - ft_{1min})}, & ft_{1min} < ft_1 < ft_{1max} \\ 1, & ft_1 \geq ft_{1max} \end{cases} \quad (16)$$

Burada ft_{1min} , her şeyin en iyi gitmesi durumunda \tilde{t}_1 bulanık sayısının alabileceği en küçük değeri ft_{1max} ise bütün her şeyin en kötü gitmesi durumunda \tilde{t}_1 bulanık sayısının alabileceği en büyük değeri göstermektedir. Bu durumda \tilde{t}_1 bulanık değişkeni Eşitlik 17'ye göre dönüştürülür:

$$ft_1 = ft_{1min} + (ft_{1max} - ft_{1min}) * \alpha \quad (17)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (18)$$

4. BULANIK GELENEKSEL MONTAJ HATTI Dengeleme Problemi Tip-2 Modeli İçin Geliştirilen Algoritma

Gözlemler ve tecrübeler göstermektedir ki bir montaj hattındaki operasyonlar genellikle standart bir sürede tamamlanabilir ancak bazı görevler; insan faktörü, eskiyen makine ve teçhizat ya da farklı tolerans değerlerine sahip parçaların birleştirilmesindeki uyumsuzluklar gibi etkenlerden dolayı çok farklı sürelerde tamamlanabilmektedir. Bu durumda görev süreleri t_{min} , $t_{enmuhtemel}$ ve t_{max} şeklinde üçgenel bulanık sayılar ile tanımlanabilir.

Bulanık operasyon zamanlı tip-2 GMHDP için geliştirilen çözüm algoritması aşağıda yer almaktadır:

Algoritma (Algorithm):

Adım 1: Görevlerin tamamlanma sürelerini deterministik ve üçgenel bulanık sayı olarak belirle.

Adım 2: Görev sürelerini, deterministik olanlar için deterministik değerleri, bulanık olanlar için de minimum, en muhtemel ve maksimum şeklinde üçe ayır ve toplamda üç ayrı görev seti belirle.

Adım 3: Daha sonra bulanık sayıları Eşitlik 15'te yer alan derecelendirilmiş ortalama birleşim sunum metoduna (DOBS) göre dönüştür. Deterministik olanları da aynen yaz ve dördüncü bir görev seti oluştur.

Adım 4: Çevrim süresini minimum yapacak şekilde operasyon zamanları bulanık tip-2 GMHDP modelini kur.

Adım 5: Teknolojik gereksinimlerden dolayı sadece belirli bir istasyonda yapılması gereken görevleri, modelde ilgili istasyonlara sabitleyecek kısıtları gir.

Adım 6: Modele, yönetici tarafından belirlenen veya olması istenen maksimum istasyon sayısını gir.

Adım 7: İlk önce bulanık sayıların minimum durumu için (görev seti 1) görev sürelerini modele gir ve programı çalıştır. Optimal sonuçlara göre her istasyona atanan görevleri belirle. Her istasyon için ayrı ayrı bulanık sayıların Eşitlik 17'de yer alan formülasyona göre üyelik fonksiyonlarını belirle ve bulunan minimum çevrim süresi değerine göre α değerleri ile hattın etkinliğini hesapla.

Adım 8: Daha sonra bulanık sayıların en muhtemel durumu için (görev seti 2) görev sürelerini modele gir ve programı çalıştır. Optimal sonuçlara göre her istasyona atanan görevleri belirle. Her istasyon için ayrı ayrı bulanık sayıların Eşitlik 17'de yer alan formülasyona göre üyelik fonksiyonlarını belirle ve bulunan minimum çevrim süresi değerine göre α değerleri ile hattın etkinliğini hesapla.

Adım 9: Bulanık sayıların maksimum durumu için (görev seti 3) görev sürelerini modele gir ve programı çalıştır. Optimal sonuçlara göre her istasyona atanan görevleri belirle. Her istasyon için ayrı ayrı bulanık sayıların Eşitlik 17'de yer alan formülasyona göre üyelik fonksiyonlarını belirle ve bulunan minimum çevrim süresi değerine göre α değerleri ile hattın etkinliğini hesapla.

Adım 10: Üç durumda da aynı istasyonlara atanan görevleri belirle.

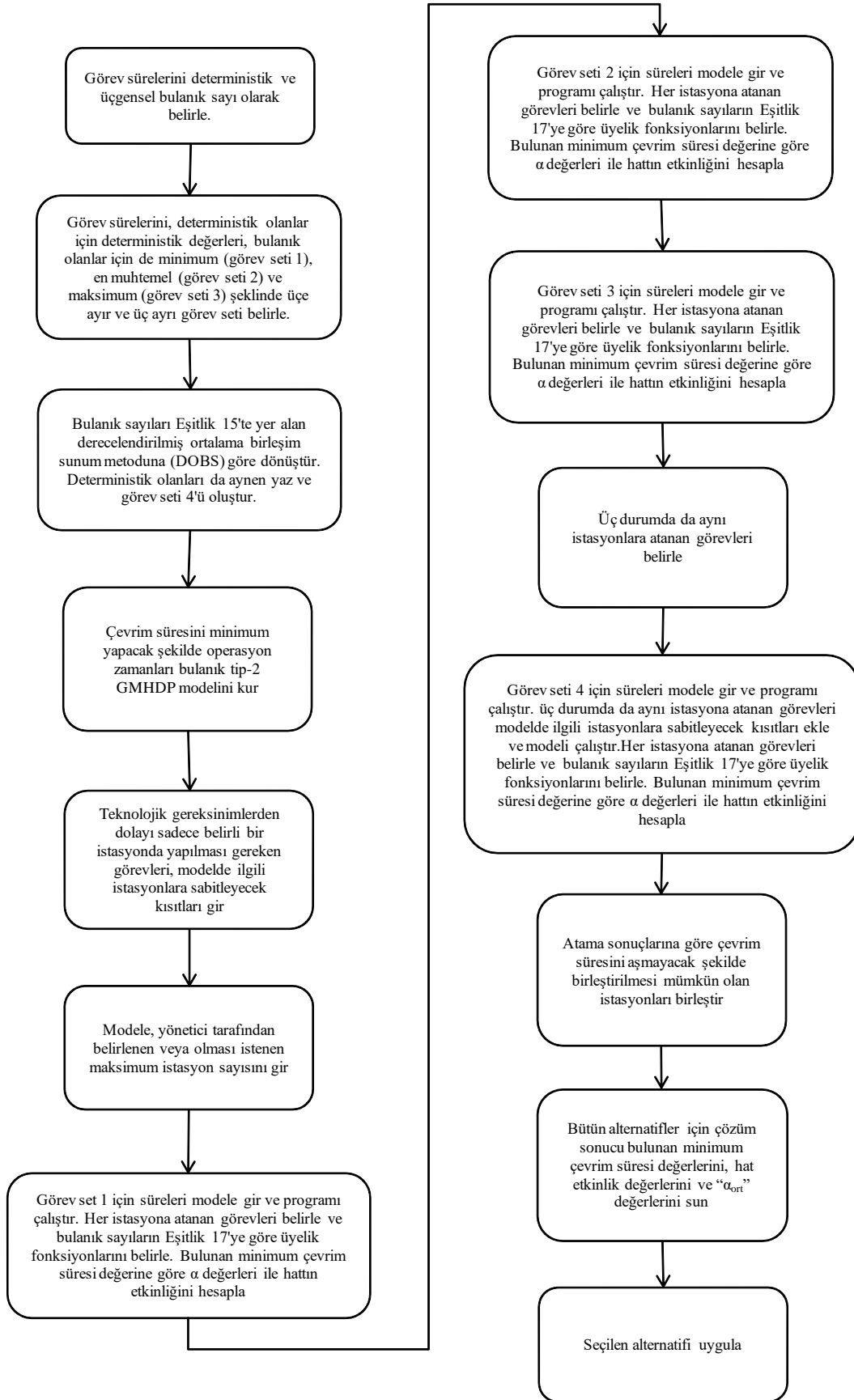
Adım 11: Bulanık sayıların dönüştürülmüş durumu için görev sürelerini belirle (görev seti 4) ve modele gir. Bir önceki adımda üç durumda da aynı istasyona atanan görevleri modelde ilgili istasyonlara sabitleyecek kısıtları ekle ve modeli çalıştır. Optimal sonuçlara göre her istasyona atanan görevleri belirle. Her istasyon için ayrı ayrı bulanık sayıların Eşitlik 17'de yer alan formülasyona göre üyelik fonksiyonlarını belirle ve bulunan minimum çevrim süresi değerine göre α değerleri ile hattın etkinliğini hesapla.

Adım 12: Atama sonuçlarına göre çevrim süresini aşmayacak şekilde birleştirilmesi mümkün olan istasyonları birleştir.

Adım 13: Yöneticiye uygun karar vermesini sağlayacak şekilde bütün alternatifler için çözüm sonucu bulunan minimum çevrim süresi değerlerini, hat etkinlik değerlerini ve " α_{ort} " değerlerini sun.

Adım 14: Seçilen alternatifi uygula.

Şekil 3'te yukarıda ayrıntılı bir şekilde ifade edilen algoritmanın akış şeması şeklinde gösterimi yer almaktadır:



Şekil 3. Geliştirilen Algoritmanın Akış Şeması Şeklinde Gösterimi (The Flow Chart of the Proposed Algorithm)

Yukarıda adımları özetlenen algoritmanın literatüre eklediği yenilik, bulanık sayıların bütün durumları için (iyimser, en muhtemel ve kötümser) ayrı ayrı sonuçların bulunup, üç durumda da aynı istasyona atanan görevlerin sabitlenip, bulanık sayıların dönüşümü yapılarak programın görev seti 4 için yeniden çalıştırıldığı durumda, çözüm süresinin oldukça kısaltılması ve görevlerin

tamamlanma süreleriyle ilgili olarak muhtemel bütün atama alternatiflerinin çıkartılarak, hepsi ile ilgili çözüm sonucu bulunan minimum çevrim süresi, hat etkinlik değeri ve “ α_{ort} ” değeri gibi karar verme sürecinde kritik önem taşıyan değişkenlerin toplu halde sunulmasıdır.

Literatürde bulanık montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için genellikle kullanılan yöntem; bulanık sayıları Eşitlik 15’te yer alan derecelendirilmiş ortalama birleşim sunum metodu (DOBS)’na göre dönüştürüp, sadece tek bir sonuç bulmaktır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise bulanık montaj hattı dengeleme problemlerinin şüphesiz en önemli parametresi olan α değerlerinin göz ardı edilmesidir. Oysaki bir istasyonun α değeri, o istasyona atanan bulanık işlem zamanlı operasyonların, olası bir gecikme durumunda çevrim süresi içerisinde tamamlanıp tamamlanamayacağını gösteren en önemli parametredir. İlgili istasyonun α değeri büyüdükçe; bulanık işlem zamanlı operasyonların, hatta meydana gelebilecek herhangi bir problem durumunda çevrim süresi içerisinde rahatça tamamlanabileceğini, aksi durumda tamamlanamayacağını gösterir.

Bu çalışmada geliştirilen algoritmada ise, yöneticiye bulanık sayıların bütün muhtemel durumları ve DOBS’a göre dönüştürülmüş durumu için, minimum çevrim süresi, hat etkinlik değeri ve “ α_{ort} ” birlikte sunulurken, yöneticiye o hattın özel durumlarına göre en iyi alternatifin seçilebilme şansı tanınmaktadır.

5. UYGULAMA

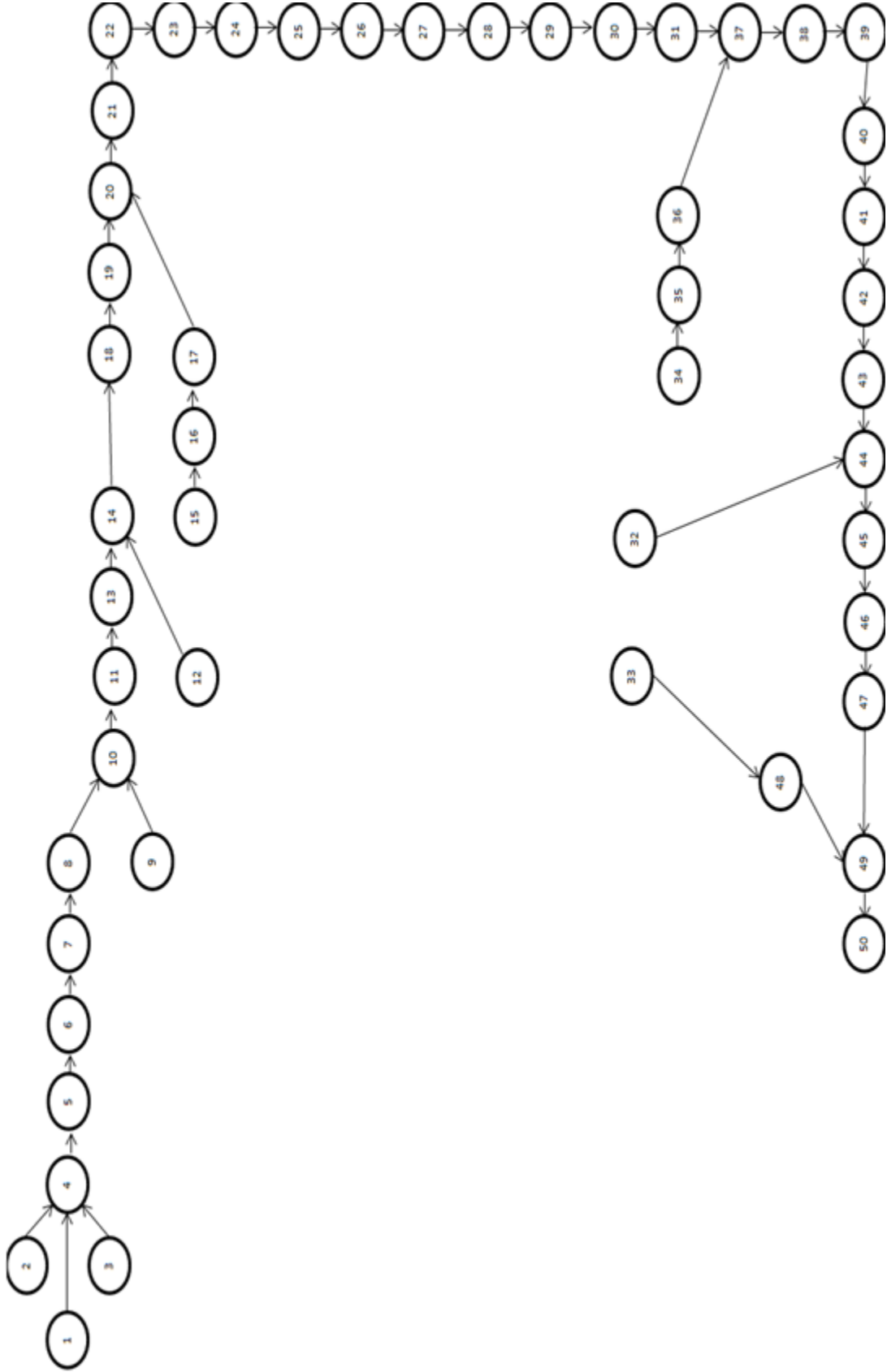
Geliştirilen algoritma, savunma sanayiinde faaliyet gösteren bir firmadaki havan mühimmatlarına ait tapa montaj hattında uygulanmıştır. Daha önce hiçbir dengeleme çalışması yapılmamış olan montaj hattında toplamda elli adet görev bulunmaktadır. Uzun gözlemler ve tecrübeler sonucunda bu operasyonlardan on beş tanesinin montaj işleminde kullanılan farklı parçaların tolerans değerleri ve insan faktöründen dolayı hep aynı sürelerde tamamlanamadığı görülmüş ve bu görevlerin tamamlanma süreleri t_{min} , $t_{enmuhtemel}$ ve t_{max} şeklinde üçgensel bulanık sayı olarak ifade edilmiştir. Diğer görevlerin ise genel olarak standart sürelerde tamamlandığı izlenmiş ve dolayısıyla deterministik olarak ele alınmıştır. Algoritmada yer alan modelin çözümünde LINGO optimizasyon programı kullanılmıştır. LINGO’da bu modelin çözümünde Branch & Bound (dal-sınır) Algoritması kullanılmakta ve optimal çözüm alınmaktadır.

Hat dengeleme problemlerinin en önemli adımlarından birisi görevlerin öncelik ilişkilerinin ve montaj sıralarının tanımlandığı öncelik diyagramının çizilmesidir. Çünkü bundan sonraki bütün adımlar, bu diyagrama göre şekillenecektir. Şekil 4’te tapa montaj işlemine yönelik oluşturulan öncelik diyagramı yer almaktadır.

Bu bölümde, problemin çözümü için geliştirilen algoritmanın adım adım uygulaması ve bölüm sonunda her bir durum için elde edilen minimum çevrim süreleri, etkinlik ve α değerleriyle ilgili hesaplamalar yer alacaktır.

Algoritmanın Uygulanması (Application of the Algorithm):

Adım 1, adım 2, adım 3 sonunda oluşturulan Tablo 1 aşağıda yer almaktadır:



Şekil 4. Öncelik Diyagramı (Precedence Diagram)

Tablo 1. Görev Süreleri (Task Times) (sn)

en muhtemel = most probable		minimum=optimistic		maksimum=pessimistic		dönüşüme göre	
görev no	süresi (sn)	görev no	süresi (sn)	görev no	süresi (sn)	görev no	süresi (sn)
1	5	1	5	1	5	1	5
2	6	2	6	2	6	2	6
3	4	3	4	3	4	3	4
4	5	4	5	4	5	4	5
5	6	5	6	5	6	5	6
6	4	6	4	6	4	6	4
7	8	7	8	7	8	7	8
8	5	8	5	8	5	8	5
9	6	9	6	9	6	9	6
10	9	10	9	10	9	10	9
11	9	11	8	11	12	11	9,33
12	6	12	6	12	6	12	6
13	5	13	5	13	5	13	5
14	20	14	18	14	25	14	20,50
15	24	15	20	15	30	15	24,33
16	16	16	13	16	17	16	15,67
17	23	17	21	17	28	17	23,50
18	10	18	10	18	10	18	10
19	8	19	8	19	8	19	8
20	7	20	7	20	7	20	7
21	13	21	12	21	16	21	13,33
22	5	22	5	22	5	22	5
23	10	23	10	23	10	23	10
24	10	24	10	24	10	24	10
25	14	25	12	25	18	25	14,33
26	40	26	30	26	48	26	39,67
27	13	27	13	27	13	27	13
28	9	28	9	28	9	28	9
29	12	29	12	29	12	29	12
30	16	30	15	30	21	30	16,67
31	24	31	18	31	29	31	23,83
32	10	32	10	32	10	32	10
33	9	33	9	33	9	33	9
34	10	34	10	34	10	34	10
35	34	35	29	35	44	35	34,83
36	11	36	7	36	13	36	10,67
37	9	37	9	37	9	37	9
38	9	38	9	38	9	38	9
39	9	39	9	39	9	39	9
40	9	40	9	40	9	40	9
41	3	41	3	41	3	41	3
42	9	42	9	42	9	42	9
43	16	43	14	43	21	43	16,50
44	20	44	20	44	20	44	20
45	22	45	22	45	22	45	22
46	8	46	7	46	12	46	8,50
47	8	47	8	47	8	47	8

48	5
49	9
50	6
Toplam	568

48	5
49	8
50	6
Toplam	523

48	5
49	12
50	6
Toplam	637

48	5
49	9,33
50	6
Toplam	572,0

Adım 4: Problemin çözümü için kurulan model aşağıda yer almaktadır:

Toplam görev sayısı, N= 50;

Toplam istasyon sayısı, K =12;

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{i görevi k istasyonuna atanmış ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad \text{tüm } i=1, 2, \dots, 50 \text{ ve } j \in W \quad (19)$$

$$\text{Min } Z = \text{Çevrim_Süresi} \quad (20)$$

$$\sum_{k=1}^{12} x_{ik} = 1 \quad i=1, 2, \dots, 50 \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^{50} \tilde{t}_i \cdot x_{ik} \leq \text{Çevrim_Süresi} \quad j= 1, 2, \dots, 12 \quad (22)$$

$$\sum_{k=1}^{12} k \cdot x_{jk} - \sum_{k=1}^{12} k \cdot x_{ik} \geq 0 \quad \forall (i,j) \in P \quad (23)$$

$$\forall (x_{i,j}) = 0, 1 \quad (24)$$

Adım 5: 44 ve 45 numaralı görevler, astar ve enamel boyaların atılması ile ilgili olduğundan yalnızca boyama istasyonu olan 10 numaralı istasyonda gerçekleştirilebilir. Bu yüzden modelde bu görevlerin ilgili istasyona sabitlenmesi gerekmektedir. Girilmesi gereken kısıtlar aşağıda yer almaktadır:

$$X_{(44, 10)} = 1; \quad (25)$$

$$X_{(45, 10)} = 1; \quad (26)$$

Adım 6: Bu montaj hattı için kabul edilen maksimum istasyon sayı 12'dir. Burada amaç görevlerin istasyonlara minimum çevrim süresini sağlayacak şekilde atanması olduğundan, optimal çözüme göre çevrim süresini aşmayacak şekilde istasyonların birleştirilmesinde bir sakınca yoktur.

Adım 7: Modelin çözümünde LINGO optimizasyon programı kullanılmış ve burada modelin Data bölümüne optimistic/minimum duruma göre görev süreleri girilmiştir. Görev seti 1 için model çalıştırıldığında çıkan sonuçlar özet olarak Tablo 2'de yer almakta olup birinci kısım LINGO çözümüne göre, ikinci kısım ise 11 ve 12 numaralı istasyonların birleşimine göre çıkan sonuçları vermektedir:

Tablo 2. Görev Sürelerinin Optimistic/Minimum Durumu İçin Sonuçlar (Results for Optimistic Situation)

İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Süresi	Alfa Değeri	İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Süresi	Alfa Değeri
1	1,2,3,4,15,34	50	0,2	1	1,2,3,4,15,34	50	0,2
2	5,6,7,8,9,10,11	46	1	2	5,6,7,8,9,10,11	46	1
3	12,13,14,16,18	52	0	3	12,13,14,16,18	52	0
4	17,19,20,21	48	0,363	4	17,19,20,21	48	0,363
5	22,23,35	44	0,533	5	22,23,35	44	0,533
6	24,25	52	0	6	24,25	52	0
7	27,28,29,30	49	0,5	7	27,28,29,30	49	0,5
8	31,36,37,38,39	52	0	8	31,36,37,38,39	52	0
9	32,40,41,42,43	45	1	9	32,40,41,42,43	45	1
10	44,45	42	-	10	44,45	42	-
11	33,48	14	-	11	33,48,46,47,49,50	43	1
12	46,47,49,50	29	1				
Çevrim Süresi = 52				Çevrim Süresi = 52			
Hat Etkinliği = 0,8381		aort = 0,46		Hat Etkinliği = 0,9143		aort = 0,46	

Not: Alfa değerleri 1'den büyük olamayacağından, hesaplama sonucu 1'den büyük çıkan Alfa değerleri "1" alınır.

Burada yer alan sonuçlara göre 11 ve 12 numaralı istasyonlara atanan görevlerin süreleri toplamı (43) çevrim süresinden (52) daha küçük olduğundan birleştirilmesinde bir sakınca bulunmamaktadır ve yeni durumda hat etkinlik değeri 0,8381'den 0,9143'e çıkmaktadır.

Buradaki α hesaplamalarına bir örnek vermek gerekirse; Eşitlik 17'ye göre üyelik fonksiyonları belirlendikten sonra her istasyon için ayrı ayrı çevrim süresine eşitlenerek hesaplama yapılır:

İstasyon 1 için görev süresi bulanık olan sadece 15 nolu görevdir.

$$ft_1 = ft_{1min} + (ft_{1max} - ft_{1min}) * \alpha \quad (17)$$

$$ft_{15} = 20 + (30-20) * \alpha$$

$$ft_{15} = 20 + 10\alpha$$

Böylece 1 nolu istasyonun toplam süresi $50 + 10\alpha$ olmakta ($t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + ft_{15} + t_{34}$)

$$50 + 10\alpha = 52 \text{ ve } \alpha = 0,2 \text{ bulunmaktadır.}$$

Bu şekilde bütün istasyonlar için α değerleri hesaplanır. Daha öncede α değerleri ile ilgili belirtilen bir ifadenin burada tekrar özetlenmesi sonuçların anlaşılması açısından faydalı olacaktır:

α , 0 ile 1 arasında değer alır. 1'den büyük çıkan değerler, α 1'den büyük olamayacağından "1" olarak kabul edilir. Burada önemli olan, ilgili istasyon için α değerinin mümkün olduğunca 1'e yakın olmasıdır. Bunun anlamı bulanık görev süreli operasyonların mevcut çevrim süresinde, atandıkları istasyonda rahatça yapılabilecek olmasıdır. Aksi durumda yani α değerleri 0'a yakın olursa, bulanık görev süreli operasyonların, herhangi bir gecikme yaratacak sorun olduğunda, bulanık süreli görevlerin atandıkları istasyonda mevcut çevrim süresi boyunca tamamlanamayacağı anlaşılmaktadır.

Adım 8: Burada modelin Data bölümüne most probable / en muhtemel duruma göre görev süreleri girilir. Bu data seti için model çalıştırıldığında çıkan sonuçlar özet olarak Tablo 3'te yer almakta olup birinci kısım LINGO çözümüne göre, ikinci kısım ise 11 ve 12 numaralı istasyonların birleşimine göre çıkan sonuçları vermektedir:

Tablo 3. Görev Sürelerinin Most Probable/En Muhtemel Durumu İçin Sonuçlar (Results for Most Probable Situation)

İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Süresi	Alfa Değeri	İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Süresi	Alfa Değeri
1	1,2,3,4,5,6,15	54	0,4	1	1,2,3,4,5,6,15	54	0,4
2	7,8,9,10,11,16	53	0,625	2	7,8,9,10,11,16	53	0,625
3	12,13,14,17	54	0,285	3	12,13,14,17	54	0,285
4	18,19,20,21,22,23	53	0,5	4	18,19,20,21,22,23	53	0,5
5	24,34,35	54	0,333	5	24,34,35	54	0,333
6	25,26	54	0,5	6	25,26	54	0,5
7	27,28,29,30	50	0,833	7	27,28,29,30	50	0,833
8	31,36,37,38	53	0,647	8	31,36,37,38	53	0,647
9	39,40,41,42,43	46	1	9	39,40,41,42,43	46	1
10	32,44,45	52	-	10	32,44,45	52	-
11	46,47	16	1	11	46,47,33,48,49,50	45	1
12	33,48,49,50	29	1				
Çevrim Süresi = 54				Çevrim Süresi = 54			
Hat Etkinliği = 0,8765		ort = 0,65		Hat Etkinliği = 0,9562		ort = 0,61	

Not: Alfa değerleri 1'den büyük olamayacağından, hesaplama sonucu 1'den büyük çıkan Alfa değerleri "1" alınır.

Burada yer alan sonuçlara göre 11 ve 12 numaralı istasyonlara atanan görevlerin süreleri toplamı (45) çevrim süresinden (54) daha küçük olduğundan birleştirilmesinde bir sakınca bulunmamaktadır ve yeni durumda hat etkinlik değeri 0,8765'ten 0,9562'ye çıkmaktadır.

Adım 9: Burada modelin Data bölümüne pessimistic / maksimum duruma göre görev süreleri girilir. Bu data seti için model çalıştırıldığında çıkan sonuçlar özet olarak Tablo 4'te yer almakta olup birinci kısım LINGO çözümüne göre, ikinci kısım ise 11 ve 12 numaralı istasyonların birleşimine göre çıkan sonuçları vermektedir:

Tablo 4. Görev Sürelerinin Pessimistic / Maksimum Durumu İçin Sonuçlar (Results for Pessimistic Situation)

İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Süresi	Alfa Değeri	İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Süresi	Alfa Değeri
1	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	58	-	1	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	58	-
2	11,15,16	59	1	2	11,15,16	59	1
3	12,13,14,18,19	54	1	3	12,13,14,18,19	54	1
4	17,20,21	51	1	4	17,20,21	51	1
5	22,23,24,25,34	53	1	5	22,23,24,25,34	53	1
6	26,27	61	1	6	26,27	61	1
7	28,32,35	63	1	7	28,32,35	63	1
8	29,30,31	62	1	8	29,30,31	62	1
9	36,37,38,39,40,41,42	61	1	9	36,37,38,39,40,41,42	61	1
10	43,44,45	63	1	10	43,44,45	63	1
11	33,48	14	-	11	33,48,46,47,49,50	52	1
12	46,47,49,50	38	1				
Çevrim Süresi = 63				Çevrim Süresi = 63			
Hat Etkinliği = 0,8426		ort = 1		Hat Etkinliği = 0,9192		ort = 1	

Not: Alfa değerleri 1'den büyük olamayacağından, hesaplama sonucu 1'den büyük çıkan Alfa değerleri "1" alınır.

Burada yer alan sonuçlara göre 11 ve 12 numaralı istasyonlara atanan görevlerin süreleri toplamı (52) çevrim süresinden (63) daha küçük olduğundan birleştirilmesinde bir sakınca bulunmamaktadır ve yeni durumda hat etkinlik değeri 0,8426'dan 0,9192'ye çıkmaktadır.

Adım 10: Yukarıda yer alan çözümlere göre, 3 durumda da aynı istasyonlara atanan görevlerin listesi Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5. Bütün Durumlarda Aynı İstasyonlara Atanan Görevler (Tasks Assigned to the Same Station in All Cases)

İstasyon No	3 Durumda da Atanan Görevler
1	1,2,3,4
2	11
3	12,13,14
4	20,21
5	-
6	26
7	28
8	31
9	40,41,42
10	44,45
11	-
12	49,50

Adım 11: Görev seti 4 daha önce Tablo 1'de verilmişti. Burada modelin Data bölümüne dönüşüme göre hesaplanan görev süreleri girilir. 3 durumda da aynı istasyonlara atanan görevleri modele sabitleyecek kısıtlar ise aşağıda yer almaktadır:

$$\begin{aligned}
&X_{(1,1)}=1; X_{(2,1)}=1; X_{(3,1)}=1; X_{(4,1)}=1; \\
&X_{(11,2)}=1; \\
&X_{(12,3)}=1; X_{(13,3)}=1; X_{(14,3)}=1; \\
&X_{(20,4)}=1; X_{(21,4)}=1; \\
&X_{(26,6)}=1; X_{(28,7)}=1; X_{(31,8)}=1; \\
&X_{(40,9)}=1; X_{(41,9)}=1; X_{(42,9)}=1; \\
&X_{(44,10)}=1; X_{(45,10)}=1; \\
&X_{(49,12)}=1; X_{(50,12)}=1;
\end{aligned}$$

Bu kısıtlar modelin sonuna eklenerek çalıştırıldığında elde edilen sonuçlar özet olarak Tablo 6'da verilmiş olup birinci kısım LINGO çözümüne göre, ikinci kısım ise 11 ve 12 numaralı istasyonların birleşimine göre çıkan sonuçları vermektedir:

Tablo 6. Dönüşüme Göre Hesaplanan Görev Süreleri İçin Sonuçlar (Results for Converted Situation of Fuzzy Numbers)

İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Süresi	Alfa Değeri	İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Süresi	Alfa Değeri
1	1,2,3,4,5,6,15	54,33	0,5	1	1,2,3,4,5,6,15	54,33	0,5
2	7,8,9,10,11,16	53	0,75	2	7,8,9,10,11,16	53	0,75
3	12,13,14,17	55	0,357	3	12,13,14,17	55	0,357
4	18,19,20,21,22,23	53,33	0,75	4	18,19,20,21,22,23	53,33	0,75
5	24,34,35	54,83	0,4	5	24,34,35	54,83	0,4
6	25,26	54	0,541	6	25,26	54	0,541
7	27,28,29,30	50,67	1	7	27,28,29,30	50,67	1
8	31,36,37,38	52,5	0,705	8	31,36,37,38	52,5	0,705
9	39,40,41,42,43	46,5	1	9	39,40,41,42,43	46,5	1
10	32,44,45	52	-	10	32,44,45	52	-
11	33,46	17,5	1	11	33,46,47,48,49,50	45,83	1
12	47,48,49,50	28,33	1				
Çevrim Süresi = 55				Çevrim Süresi = 55			
Hat Etkinliği = 0,8667		$\alpha_{ort} = 0,73$		Hat Etkinliği = 0,9455		$\alpha_{ort} = 0,7$	

Not: Alfa değerleri 1'den büyük olamayacağından, hesaplama sonucu 1'den büyük çıkan Alfa değerleri "1" alınır.

Burada yer alan sonuçlara göre 11 ve 12 numaralı istasyonlara atanan görevlerin süreleri toplamı (45,83) çevrim süresinden (55) daha küçük olduğundan birleştirilmesinde bir sakınca bulunmamaktadır ve yeni durumda hat etkinlik değeri 0,8667'den 0,9455'e çıkmaktadır.

Adım 12: Bu adımda yer alan birleştirme işlemi yukarıda verilen sonuç çizelgelerinde yer almaktadır.

Adım 13: Her durum için program çalıştırılmış ve optimal sonuçlar alınmıştır. Modelin çıktıları değerlendirildiğinde 11 ve 12 nolu istasyonların birleştirilmesinin makul olduğu sonucuna varılmış ve montaj hattının 11 istasyon olmasına karar verilmiştir. Problemin çözümündeki ana amaç, çeşitli kısıtlar altında görevlerin 11 istasyona en küçük çevrim süresini sağlayacak şekilde dağıtılmasıdır. Bulunan minimum çevrim süresi değerleri, hat etkinlikleri ve α_{ort} değerleri Tablo 7'de özetlenmiştir:

Tablo 7. Sonuçların Değerlendirilmesi (Evaluation of Results)

	Optimistic	Most Probable	Pessimistic	Dönüşüm
Çevrim Süresi	52	54	63	55
Hat Etkinliği	0,9143	0,9562	0,9192	0,9455
Alfa Ortalama	0,46	0,61	1	0,7

Adım 14: Alternatifleri değerlendirdiğimizde, dönüşüme göre bulunan sonuçlara baktığımızda, çevrim süresinin 55 saniye gibi makul bir süre, hat etkinlik değerinin 0,9455 ile oldukça iyi bir değer ve ortalama α değerinin ise 0,7 ile oldukça iyi bir değer aldığı gözlemlenmiştir. Bu alternatif, ortalama α değerinin 0,7 olması sayesinde bulanık görev süreli operasyonların genellikle belirlenen çevrim süresinde rahat bir şekilde tamamlanabileceği; bunun 0,9455 gibi yüksek bir etkinlik düzeyinde başarılabilirliği anlamı taşımaktadır. En muhtemel durumda oldukça makul görünse de hatta olabilecek aksaklıkların sayısının artması durumunda 0,61'lik α değerinin yetersiz kalabileceği ve bazı görevlerin çevrim süresi içerisinde tamamlanamayabileceği anlaşılmaktadır. Kötümser durumda α değerinin 1 olması sebebiyle, bu alternatifin seçilmesi durumunda bütün bulanık görevler, en kötü durumda bile ilgili çevrim süresi boyunca rahatça tamamlanabilecektir. Ancak çevrim süresinin (63) gereksiz derece büyük olması, aynı üretim süresi içerisinde en az nihai ürünün elde edileceği seçeneğin bu olması anlamına gelecektir. İyimser seçenekte çevrim süresi (52) alternatifler arasında en iyi değer olsa da 0,46 α değerinin çok yetersiz olduğu ve en küçük aksaklıklarda bile görevlerin tamamlanamayacağı anlamı bulunmaktadır.

Yukarıdaki açıklamalar çerçevesinde tapa üretiminin yapıldığı montaj hattının, bulanık görev süreli operasyonlar için, bulanık sayıların dönüşümüne göre belirlenen görev sürelerinin dikkate alınarak dengelemesi yapıldığında, 11 istasyon ile 55 saniye çevrim süresi, 0,9455 hat etkinlik değeri ve 0,7 ortalama α_{ort} değeri sonuçlarına ulaşılabilecektir. Bu da özellikle işçilik maliyetleri, etkinlik ve verimlilik açısından en uygun seçeneğin bu alternatif olduğu anlamına gelmektedir.

Elde edilen sonuçlar mevcut durumla kıyaslanacak olursa, mevcut durumda çevrim süresi yaklaşık 85 saniye ve 6,5 saat net çalışma süresi ile günlük üretilen tapa sayısı ortalama 280 adetti. Geliştirilen algoritmaya göre ise çevrim süresi 55 saniye ve günlük üretim miktarı 425 adet olabilecektir. Böylece mevcut hattın, geliştirilen algoritmanın uygulanarak dengelenmesi sonucu üretim oranının %50 civarlarında artırılabilirliği değerlendirilmektedir.

6. SONUÇ

Tarihte bilinen ilk montaj hattı olan ve Henry Ford'un arkadaşlarıyla birlikte oluşturdukları ünlü T modelinin üretildiği hattan buyana, montaj hattı dengeleme problemi, en çok çalışılan endüstri mühendisliği problemlerinden birisidir. 1954'te Bryton'ın yayınladığı çalışmanın ardından çoğu deterministik hat dengeleme problemi olan oldukça fazla sayıda çalışma yayımlanmıştır.

Bu çalışmada, bulanık operasyon zamanlı tip-2 GMHDP için geliştirilen algoritmaya göre tapa montaj hattı için toplamda 4 adet alternatif üretilmiş ve bunlar içerisinde en uygun olan alternatifi, bulanık görev süreli operasyonlar için, bulanık sayıların DOBS'a göre dönüşümü sonucunda belirlenen görev sürelerinin dikkate alınarak dengelemesi yapıldığında, 11 istasyon ile 55 saniye çevrim süresi, 0,9455 hat etkinlik değeri ve 0,7 ortalama α değeri sonuçlarına ulaşılmıştır. Bu da özellikle işçilik maliyetleri, etkinlik ve verimlik açısından en uygun seçeneğin bu alternatif olduğu anlamına gelmektedir.

Bu çalışmada geliştirilen algoritmanın, mevcut bir montaj hattı için çevrim süresinin minimize edilmek istendiği ve bütün görevlerin veya bazı görevlerin operasyon sürelerinin bulanık olduğu durumlar için, üst yöneticiye karar verme sürecinde oldukça yardımcı olacak, her durum için ayrı ayrı optimum yerleşim alternatiflerini verecek olan etkin bir yöntem olduğu değerlendirilmektedir.

REFERANSLAR

- Bryton, B. Balancing of a Continuous Production Line, Unpublished M.S. Thesis, Northwestern University, (1954).
- Salveson, M. E., The Assembly Line Balancing Problem. The Journal of Industrial Engineering, 6 (3), 18–25, (1955).
- Bowman, E. H. Assembly Line Balancing By Linear Programming. Operations Research, 8(3), 385-389, (1960).
- Kilbridge, M. D., & Wester, L. A Heuristic Method of Assembly Line Balancing. The Journal of Industrial Engineering, 12(4), 292-298, (1961).
- Klein, R., 'On Assembly Line Balancing', Operations Research, Vol. 11, 274-281, (1963).
- Thangavelu, S. R., Shetty, C. M., 'Assembly Line Balancing by Zero-One Integer Programming', AIIE Trans., 3, 61-68, (1971).
- Patterson, J. H., and Albracht, J. J., Assembly-Line Balancing: Zero-One programming with Fibonacci Search, Operations Research, 23, 166-174, (1975).
- Pinto, P., Dannenbring, D. G., Khumawala, B. M., A Branch And Bound Algorithm For Assembly Line Balancing with Paralleling, International Journal of Production Research Volume 13, Issue 2, Pages 183-196, March (1975).
- Talbot, F. B., and Patterson, J. H., An Integer Programming Algorithm with Network Cuts for Solving the Single Model Assembly Line Balancing Problem, Management Science, 30, 85-99, (1984).
- Johnson, R. V., 'Optimally Balancing Large Assembly Lines with 'FABLE'', Management Science, 34 (2), 240-253, (1988).
- Hoffmann, T. R., 'Eureka: A Hybrid System for Assembly Line Balancing', Management Science, 38 (1), 39-47, (1992).
- Scholl, A., Klein, R., SALOME: A Bidirectional Branch and Bound Procedure for Assembly Line Balancing, Journal on Computing, Cilt 9, 319-334, (1997).
- Gökçen, H., Erel, E., Shortest-Route Formulation of Mixed Model Assembly Line Balancing Problem, European Journal of Operations Research, Cilt 116, 194-204, (1999).
- Sabuncuoğlu, I., Erel, E. ve Tanyer, M., Assembly Line Balancing Using Genetic Algorithms, Journal of Intelligent Manufacturing, Cilt 11, No 3, 295-310, (2000).
- Stockton, D. J., Quinn, L., & Khalil, R. A. Use of Genetic Algorithms in Operations Management Part 1: applications. Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers-Part B: Journal of Engineering Manufacture, 218(3), 315-327, (2004).
- Bukchin, Y., Rubinowitch, J. A Branch-and-Bound Based Solution Approach for the Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem for Minimizing Stations and Task Duplication Costs. European Journal of Operational Research, 174, 492-508, (2006).
- Moodie, C. L., and H.H. Young, A Heuristic Method of Assembly Line Balancing for Assumptions of Constant or Variable Work Element Times, The Journal of Industrial Engineering, 16(1): 23-29, (1965).

- Mansoor, E., Ben-Tuvia, S., Optimizing Balanced Assembly Lines *Journal of Industrial Engineering*, XVII, 126-132, (1966).
- Arcus, A. L., COMSOAL: A Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines, *International Journal of Production Research*, Cilt 4, No 4, 259-277, (1966).
- Kao, E., A Preference Order Dynamic Program for Stochastic Assembly Line Balancing *Management Science* Vol. 22, No 10, (1976).
- Sculli, D., Dynamic Aspects of the Line Balancing OMEGA—*Int. J. Management Sciences*, 7 pp. 557–562, (1979).
- Driscoll, J., Abdel-Shafi A., A Simulation Approach to Evaluating Assembly Line Balancing Solutions *Int. J. Prodn Res.* 23(5), 975-985, (1985).
- Betts, J, Mahmoud, K. I., Identifying Multiple Solutions for Assembly Line Balancing Having Stochastic Task Times, *Computers Industrial Engineering*, Vol. 16 No.3, p. 427-45, (1989).
- Nkasu, M. M., Leung, K. H., A Stochastic Approach To Assembly Line Balancing, *International Journal of Production Research* Volume 33, Issue 4, (1995).
- Suresh, G., Vinod, V. V., Sahu, S., A Genetic Algorithm for Assembly Line Balancing, *Production Planning and Control*, 7(1), 38-46, (1996).
- Ağpak, K., Gökçen, H., Saray, N., Özel, S., Stokastik Görev Zamanlı Tek Modelli U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Bir Sezgisel, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 17, No 4, 115-124, (2002).
- Liu, S. B., Ong, H. L., & Huang, H. C. A Bidirectional Heuristic For Stochastic Assembly Line Balancing Type II Problem. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25, 71-77, (2005).
- Tsujimura, Y., Gen, M. ve Kubota, E., Solving Fuzzy Assembly Line Balancing Problem with Genetic Algorithms, *Computers and Industrial Engineering*, Cilt 29, No 1-4, 543-547, (1995).
- Tsujimura, Y., Gen, M. ve Li, Y. X., Fuzzy Assembly Line Balancing Using Genetic Algorithms, *Computers and Industrial Engineering*, 31 (3-4) : 631-634 (1996).
- Chutima, P. Yiangkamolsing, C., Application of Fuzzy Genetic Algorithm for Sequencing in Mixed-Model Assembly Line with Processing Time, *International Journal of Industrial Engineering: Theory Applications and Practice*, Cilt 10, No 4, 325-331, (2003).
- Khoshalhan, F., Zegordi, S.H., Solving Type One and Type Two Fuzzy Assembly Line Balancing Problems using Genetic Algorithms *Journal of Science and Technology*, Cilt 14, No 55, (2003).
- Brudaru, O., & Valmar, B. Genetic Algorithm with Embryonic Chromosomes for Assembly Line Balancing with Fuzzy Processing Times. *The 8th International Research/Expert Conference Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, Neum, Bosnia and Herzegovina, (2004).
- Fonseca, D., J., Guest, C.L., Elam, M. and Karr, C.L., Fuzzy Logic Approach to Assembly Line Balancing, *Mathware & Soft Computing*, Cilt 12, 57-74, (2005).
- Hop, N. V., A Heuristic Solution for Fuzzy Mixed- Model Line Balancing Problem *European Journal of Operational Research*, Cilt 168, 798–810, (2006).
- Kalender, F. Y., Yılmaz, M. M., Türkbey, O., Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Bir Yaklaşım *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 23, No 1, 129-138, (2008).
- Xu, W., Xiao, T., Mixed Model Assembly Line Balancing Problem With Fuzzy Operation Times And Drifting Operations, *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, (2008).
- Kara, Y., Paksoy, T., Chang, C. T., Binary Fuzzy Goal Programming Approach To Single Model Straight And U-Shaped Assembly Line Balancing, *European Journal of Operational Research*, Cilt 195, 798–810, (2009).
- Tapkan, P., Özbakır, L., Baykasoğlu, A., Bees Algorithm for Constrained Fuzzy Multi-Objective, *Optimization Letters*, Volume 6, Issue 6, pp 1039-1049, (2012).
- Baykasoğlu, A., Özbakır, L., Görkemli, L., Görkemli, B., Multi-Colony Ant Algorithm For Paralel Assembly Line Balancing With Fuzzy Parameters, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems* (23), pages 283–295, (2012).
- Adham, A., J. A., Tahar, R., B., M., Enhancing Efficiency of Automobile Assembly Line Using the Fuzzy Logical and Multi-objective Genetic Algorithm, *WCCI 2012 IEEE World Congress on Computational Intelligence*, Brisbane, Australia June, 10-15, (2012).
- Zacharia, P. Th., Nearchou, A. C., Multi-Objective Fuzzy Assembly Line Balancing Using Genetic Algorithms, *J Intell Manuf* 23:615–627, (2012).

Hazır, Ö., Dolgui, A., Assembly Line Balancing Under Uncertainty: Robust Optimization Models And Exact Solution Method, Computers and Industrial Engineering, Cilt 65, No 2, 261-267, (2013).

Zacharia, P. Th., Nearchou, A. C., A Meta-heuristic Algorithm for the Fuzzy Assembly Line Balancing Type-E Problem, Computers and Operations Research, Cilt 40, No 12, 3033-3044, (2013).

White, W. W., "Comment on a Paper by Bowman", Operations Research, Cilt 9, No 2, 274-276, 1961.

Kaufmann, A. and Gupta, M. M., "Introduction to Fuzzy Arithmetic: theory and Applications", Van Nostrand Reinhold, New York., 74-84 (1991).

Chen, S., H., Hsieh, C.H., Representation, Ranking, Distance, and Similarity of L-R Type Fuzzy Number and Application, Australian Journal of Intelligent Processing System 6 (4): 217-229 (2000).