

# MONTAJ PLANLAMA YAKLAŞIMLARI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

**Adem ÇİÇEK ve Mahmut GÜLESİN**

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü Teknikokullar 06500, ANKARA  
[adecicek@yahoo.com](mailto:adecicek@yahoo.com), [gulesin@gazi.edu.tr](mailto:gulesin@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 06.02.2006; Kabul/Accepted: 06.03.2007)

## ÖZET

Bilgisayar destekli montaj planlama, montaj işleminin optimize edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, montaj planlama alanında birçok araştırma yapılmış ve çeşitli montaj planlama yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu montaj planlama yaklaşımları ile hem tüm olası montaj sıraları hem de en uygun montaj sırası bilgisayar destekli olarak elde edilerek montaj zamanı en aza indirilmiştir. Bu makalede montaj planlama yaklaşımları tartışılmış ve kullanılan yöntemlere göre sınıflandırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Montaj planlama, en uygun montaj sırası, olası montaj sıraları.

## A SURVEY ON ASSEMBLY PLANNING APPROACHES

### ABSTRACT

Computer aided assembly planning plays an important role in optimization of the assembly procedure. For this reason, a lot of research works have been done in the field of assembly planning and various assembly planning approaches have been improved. The assembly time is minimized by obtaining both all feasible assembly sequences and optimum assembly sequences through these computer aided assembly planning approaches. In this paper, the assembly planning approaches were discussed and classified according to methods utilized.

**Keywords:** Assembly planning, optimum assembly sequences, feasible assembly sequences.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Montaj, tasarım ve imalat işlemlerinin sonucunda parçaların bir araya getirilerek ürünün son halini oluşturma işlemi olup imalat sanayinde ürün geliştirmenin en önemli aşamalarından biridir. Bundan dolayı, otomotiv ve elektronik gibi sektörlerde istihdam edilen işçilerin büyük çoğunluğunu montaj hattında çalışanlar oluşturmaktadır. Ayrıca, çoğu endüstriyel ürünlerin toplam maliyetine % 40 ila % 60 oranında montaj maliyeti etki etmektedir. Montajın bu öneminden dolayı, ürünün tasarım aşamasında montaj parametrelerini dikkate alarak ve iyi bir montaj işlem planlama metodolojisi kullanarak en etkin şekilde ürünlerin montajının yapılması amaçlanmaktadır. Montaj için bilgisayar destekli işlem planlama (BDİP) ise, tasarımı verilen bir ürünün montajı için detaylı bir

plan hazırlama faaliyeti olarak tanımlanabilir. Bu işlem üç aşamaya ayrılmıştır: montajın geometrik modellenmesi, geometrik temsili verilen montajın analizi ve tercih edilen bir montaj planının türetilmesi. Son aşama ise olası montaj sıralarının türetilmesi ve her bir alternatifin değerlendirilerek montaj işlemlerinin en iyi sırasının seçilmesidir. Montaj planlama montaj işleminin en önemli ve zaman alıcı aşamasını oluşturmaktadır. Aynı zamanda, montaj sırası planlamanın montaj makineleri ve diğer ekipmanlarla ilgili verimlilik, ürün kalitesi ve maliyete doğrudan etkisinin olması, montaj planlamanın önemini artırmaktadır.

Bu makalede, günümüze kadar geliştirilen montaj planlama yaklaşımları açıklanmış ve kullanılan yöntemlere göre sınıflandırılmıştır. Aynı zamanda günümüze kadar yapılan çalışmaların bir değeren-

dirilmesi yapılarak montaj planlama alanında çalışma yapacak araştırmacılar için bir kaynak oluşturulması sağlanmıştır.

## 2. MONTAJ PLANLAMA YAKLAŞIMLARI (ASSEMBLY PLANNING APPROACHES)

Planlama istenen hedefleri gerçekleştirmek için bir strateji geliştirmektir. Planlamanın en ilginç uygulamalarından biri de parçalardan mekanik bir ürünü yapılandırmak için farklı montaj işlemlerini teşhis etmeye ve değerlendirmeye yardımcı olan montaj planlamadır. Kısaca montaj sıra planlayıcı, ürünü oluşturan parçaları teşhis eden ve işlemler arası öncelik ilişkilerini içeren montaj sıra planlarını türeten ürünü geometrik tanımlama tabanlı bir sistemdir. Her bir plan, gerçekleştirilecek montaj işlemlerini ve bu işlemlerin sıralarını tayin etmektedir. Bunun için verimli bir montaj sistemi kurmada, montaj planlama önemli bir yer oluşturmaktadır. Montaj planlama, montajın en zaman alıcı ve önemli kısmını oluşturduğundan birçok araştırmacı, bu alanda en uygun bir montaj planlama yaklaşımı geliştirmek için farklı yaklaşımlar kullanarak birçok çalışma yapmıştır. Bu bölümde günümüze kadar yapılan montaj planlama çalışmaları, kullanılan yöntemlere göre sınıflandırılarak bu çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

### 2.1. Grafik Tabanlı Yaklaşımlar (Graph Based Approaches)

Bir montajın en genel ve yaygın temsilinde grafikler kullanılmaktadır. Grafik tabanlı temsiller montajın kısmi görünümünü içermekte ve montaj işlemine ve biraz da montaj işlemlerinin özelliklerine veya detaylarına yoğunlaşmaktadır. Grafik tabanlı temsiller genellikle BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) veritabanı veya kullanıcı tarafından sağlanan bilgilerden elde edilmektedir. Grafik tabanlı çalışmalarda geliştirilen bu temsiller aracılığıyla montaj analiz edilebilmektedir. Montajın analizi robot yol planlama, çakışmaların kontrolü, öncelik ilişkilerinin belirlenmesi ve montaj işlem sırasının türetilmesini içeren geniş bir alana hitap etmektedir. Montajdaki çakışma ve öncelik ilişkilerini temsil eden bu grafiklerden olası montaj sıraları türetilerek bu sıralar montaj sıralama grafiği gibi grafiklerde temsil edilmektedir. Daha ileri bir ayrıştırma ile bu grafiklerden de en iyi montaj sırası türetilmektedir.

Arieh ve Kramer [1] alt montaj işlemlerinin farklı kombinasyonlarını dikkate alarak olası tüm montaj sıralarını türetmek için bir metodoloji sunmuştur. Bu metodoloji montaj analizinin iki aşamasından ibaret olup ilk aşamada parçanın olası tüm montaj sıraları türetilmiştir. Bu sıralar doğrudan montaj işlemlerinin olası kombinasyonlarını karşılamakta ve montajın iç

veya dış tipi olup olmadığını tanımlamaktadır. Bu aşamada girdi, parçaların listesi, her bir parçanın temas listesi ve öncelik ilişkilerinin listesidir. İkinci aşamada girdi olarak, birinci aşamadan elde edilen montaj sıraları kullanılarak olası tüm alt montaj kombinasyonları türetilmektedir. Çok sayıdaki olası kombinasyonlara rağmen verilen bir ürün montajı için bunların sadece bir kısmı uygulanabilir. Olası kombinasyonlar temas sınırlamaları, geometrik öncelik sınırlamaları ve teknolojik sınırlamalarını karşılamak zorundadır. Bu sınırlamalar olası işlem planlarının sayısını mantıklı bir sayıya düşürerek büyük ölçekli montajlar için algoritmayı pratik ve uygulanabilir hale getirmektedir. Fakat yine de hesaplama karmaşıklığından dolayı montaj sıralarını türetmek oldukça zaman alıcıdır.

Baldwin, vd. [2] olası montaj sıralarını türeten ve iyi bir sırayı seçmek için tasarımcıyı destekleyen bir ortam sağlayan bir takım bilgisayar desteği geliştirmişlerdir. Çalışmada, öncelik bilgisi türetme, montaj sıralarını türetme ve sıraları düzenleme prosedürleri entegre edilmiştir. Olası montaj sıraları demontaj analizi kullanılarak türetilmekte ve bu işlemler gerçekleştirilirken kullanıcı etkileşimine gidilmektedir. Montaj hakkındaki topolojik bilgi bir irtibat grafiği olarak girilerek tüm olası alt montajlar türetilir. Bu da, tüm olası parça kombinasyonlarını türeterek irtibat grafiğindeki parçaların veya düğümlerin kombinasyonu ile biçimlendirilen alt grafiğin bağlanabilirliğini test ederek gerçekleştirilmektedir. Tüm bağlanan alt grafikler olası alt montajlar olarak düşünülmüştür. Sonra montaj kesme-setleri türetilmiştir. Montaj kesme-setleri bir montaj için öncelik ilişkilerini tayin etmede ihtiyaç duyulan bütün sorguları türetmek için kullanılmaktadır. Öncelik ilişkileri araştırma, bir seri sorgu araştırmalarıdır. Öncelik ilişkileri çıkarılır çıkarılmaz, bu ilişkiler bir montaj sıralama grafiğine veya bir montaj sıralama ağına dönüştürülmüştür. Daha sonra bir takım kriterler bu montaj sıralarına uygulanarak birkaç tane ideal montaj sırası elde edilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen yaklaşımda, kullanıcı etkileşimine fazla gidildiğinden kullanıcının bu alanda bir uzman bilgisine sahip olması gerekmektedir. Aynı zamanda, yaklaşım girdi olarak montajın irtibat grafiğini kabul ettiğinden kullanıcının montaj irtibat grafiğini tanımlaması gerekmektedir.

Chakrabarty ve Wolter [3] montajın parçaları arasındaki yapısal ilişkilerin hiyerarşik bir temsilini kullanarak en uyguna yakın montaj sırasını planlamak için yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Hiyerarşik montaj planlayıcı adını verdikleri algoritmaya girdi, yapılar ve alt yapılar ayrıştırılmış montajın hiyerarşik parçalarıdır. Montaj tarafından kullanılan plan temsili bütün alt montajları teşhis etmektedir. Algoritma genel yapıları inşa etmek için tercih edilen

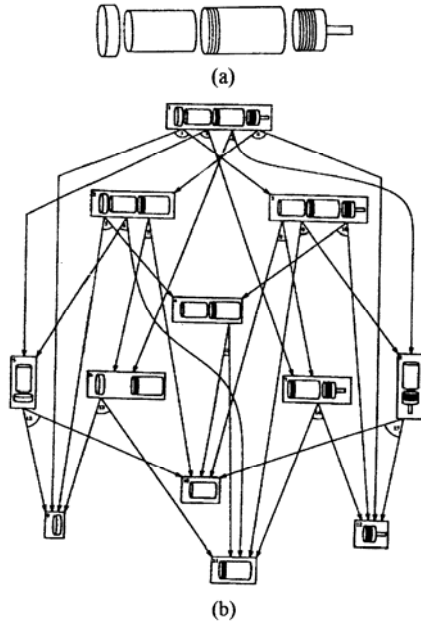
yollar hakkındaki bilgiyi içeren bir yapı kütüphanesinin varlığını varsayar ve düşük düzey yapılar için planları seçerek ve sonra daha yüksek düzey yapılar için seçilen planları birleştirerek alttan yukarı planlama yapar. Algoritma en uygun planları seçmek için değerlendirme fonksiyonlarını kullanmaktadır. Fakat bu fonksiyonlar planları tamamen optimize etmeyi garanti etmemektedir. Dolayısıyla, bulunan planlar her zaman en uygun planlar olmayabilir. Yaklaşımın en önemli avantajı ise planlama zamanının en aza indirmesidir. Fakat sistem, girdi olarak montaj yapı ve altyapılarının hiyerarşik ayrıştırılmış temsili kullanmaktadır. Ürünün BDT modeli esas alınmadığından, sistemin bütünlüğü bozulmaktadır.

Zorc, vd. [4] parça özelliklerinden en uygun montaj sıralarını çıkaran prototip bir montaj planlayıcı geliştirmişlerdir. Planlayıcıya girdi olarak kullanılan montaj temsili, montaj hareketlerinin geometrisi ile doğrudan ilişkili olan parçalar arasındaki uzaysal ilişkiler tabanlıdır. Planlama işlemi iki mantıklı aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, uygulanabilirlik kriterleri kullanılarak olası montaj sıraları elde edilmiştir. İkinci aşamada ise seçim kriterleri kullanılarak en uygun montaj sırası elde edilmiştir. Olası tüm montaj sıraları bir VE/VEYA grafiğinde temsil edilmiş ve grafik, farklı bir AO\* (AND/OR) sezgisel algoritma kullanılarak en iyi montaj sırası araştırılmıştır. Sistemin çıktısı, araştırma kriterlerine göre gerekli montaj hareketi tanımlı bir en uygun montaj sırasıdır. Sistem en uygun montaj sırasını elde etmede etkin bir yöntemdir. Ayrıca olası sıralar türetilirken ürünün geometrik özellikleri hesaba katılarak hesapsal karmaşıklık önlenmiştir.

Ko ve Lee [5] montaj prosedürünü otomatik türeten bir metot geliştirmişlerdir. Çalışmalarında bir montaj, montajdaki parçalar ve parçalar arasındaki ilişkiler özellikle eşleşme şartları ile tanımlanmıştır. Gerçek bir zincir, bir montajdaki eşleşen parçaların herhangi bir çifti arasındaki bir ögedir ve iki parça arasındaki bütün eşleşme şartlarını taşımaktadır. Bundan dolayı tasarımcı, bu tanım şemasında bir montajı tanımlamak için eşleşen parçalar arasında sadece eşleşme şartlarını temin etmelidir. Bu eşleşme şartları çakışma kontrolü için yeterli geometrik bilgiyi taşımaktadır. Parçaların eşleşme şartlarından montaj prosedürü iki aşamada türetilmektedir. Birinci aşamada, eşleşme sağlanır sağlanmaz, montajdaki her bir parça, hiyerarşik bir ağacın belirli bir köşe noktasına yerleştirilir. İkinci aşamada ise çakışma kontrolü yardımıyla hiyerarşik ağaçtan montaj prosedürü veya öncelik grafiği türetilir. Sistem girdi için kullanıcı yardımına ihtiyaç duymakta ise de geometrik modellerden kısmen veri çıkarabilmektedir.

Gu ve Yan [6] unsur tabanlı bir veritabanından montaj sıralarını otomatik türetmek için grafik tabanlı sezgisel bir yaklaşım sunmuşlardır. Unsur tabanlı temsil ürün montajını modellemek için kullanılmıştır. Otomatik montaj sıra planlama sistemi herhangi bir kullanıcı müdahalesi olmadan montaj sıralarını türetmek için başlıca dört aşamayı kullanmaktadır. İlk aşamada ürün, unsur tasarım temsili tabanlı bağ grafikleri oluşturulmuştur. Olası bir demontaj sırasını türetmek için planlayıcı bağ grafiklerinin irtibat ve temas ilişki grafikleri olmak üzere iki çeşidini kullanmaktadır. Bir irtibat grafiği üründeki tüm parçalar arasındaki bağlanma ilişkilerini ve temas ilişki grafiği ise, hem geometrik hem de geometrik olmayan sınırlamaları içeren temas halindeki parçalar arasındaki yön ilişkilerini temsil etmektedir. İkinci aşamada, bağ grafikleri kullanılarak montaj alt montajlara ayrıştırılmaktadır. Ayrıştırmanın amacı çok parçalı ürünlerin montajındaki karmaşıklığın giderilmesidir. Üçüncü aşamada, oluşturulan her bir alt grup için demontaj sırası türetilmektedir. Bu aşamada, bir parçanın ürün montajından demontajı yapılırken çarpışmaya neden olmayan herhangi bir yön bulunmakta ve bu yön montaj yapısı için bir kararsızlığa neden olmuyorsa, bu parçanın demontajı yapılabilir anlamına gelmektedir. Bu mantığa göre demontaj sırası türetilmektedir. Son aşamada ise alt grupların demontaj sırası, tam bir demontaj sırası için birleştirilmiş ve demontaj sırası ters çevrilerek son montaj sırasına dönüştürülmüştür. Bu çalışmada ürünü oluşturan parçanın iki boyutlu modeli, geometrik muhakeme ile bağlantı grafiklerine dönüştürülmüştür. Fakat yaklaşım en uygun montaj sırasının elde edilmesini desteklememektedir.

De Mello ve Sanderson [7] tüm olası montaj sıralarının kısa ve özlü temsili için VE/VEYA grafik temsili kullanmışlardır. Bir VE/VEYA grafiği tüm olası montaj planlarının temsiliinde düğümlerin sayısını azaltmakta ve olası montaj planları için araştırmayı kolaylaştırmaktadır. Bu çalışmada üç uygulama tartışılmıştır. En iyi montaj planının ön seçimi, uygulama hatalarını düzeltme ve görevlerin fırsatçı programlanması. En iyi montaj planının ön seçimi için kullanılan yaklaşım en iyi demontaj planının ön seçimi için de kullanılabilir. En iyi montaj planını bulmak için VE/VEYA grafiğinde yukarıdan-aşağı (top-down) araştırması yapılmaktadır. Uygulama hatalarını düzeltmek için ise alttan-yukarı (bottom-up) araştırması yapılmaktadır. VE/VEYA grafikleri düğümler ve yaylardan meydana gelmekte ve işlemlerin ortalama sayısını azaltmaktadır. Şekil 1'de örnek bir parça ve bu parçanın VE/VEYA grafiği verilmiştir. Bu grafikte dört parçadan oluşan bir ürünün olası montaj sıraları ve alt montajları temsil edilmektedir.



**Şekil 1. a.** Bir örnek parça, **b.** VE/VEYA grafiği [7]  
(a. A sample part, b. Its AND/OR graph)

Niu, Ding ve Xiong [8] montaj planlamada öncelik grafiklerini üretmek için hiyerarşik bir yaklaşım sunmuşlardır. Yaklaşımın temel mantığı, montajdaki tüm parçalar için yön sınırlama setlerini tanımlamak, bu setlerin öncelik ilişkilerini hiyerarşik olarak çıkarmak ve her bir katman için tüm öncelik grafiklerini elde etmek ve değerlendirmektir. Yaklaşım girdi, eşleşme ilişki grafiği ile geometrik muhakeme ve bilgi aracılığıyla eşleşme ilişki grafiğinden mantıksal olarak çıkarılan hiyerarşik ilişki grafiğidir. Montajın eşleşme ilişki grafiğine göre, revize bir algoritma yönsüz blok grafiğini üretmektedir. Aynı zamanda, montajın hiyerarşik ilişki grafiğini ve kayıtlı yön sınırlama setlerini kullanarak her bir katman için tüm olası öncelik grafikleri başka bir algoritma tarafından üretilmiştir. Son aşamada ise tüm olası grafikler içinden belirli bir katmandaki en uygun öncelik grafiği seçilmiştir. Çalışmada, en uygun zaman kullanımı açısından BDT modeli esas alınmadığı için herhangi bir geometrik muhakemeye ihtiyaç duyulmamıştır. Sadece eşleşme ve hiyerarşik ilişki grafikleri girdi olarak alınmış ve çıktı olarak ise öncelik grafikleri elde edilmiştir.

Börklü ve Sinanoğlu [9] grafik tabanlı metotlar kullanarak montaj sırası planlamaya etkin çözümler sağlayacak bir yöntem araştırmışlardır. Montajı oluşturan parçalar ve parçalar arasındaki ilişkiler montaj bağlantı grafiği ve montaj sıraları ise yön grafiği kullanılarak temsil edilmiştir. Her bir montaj durumu parça küme ayrışmaları ile gösterilmiştir. Montajı yapılamayacak parça alt kümeleri alt montaj, kararlılık, geometrik ve mekanik uygunluk sınırlayıcıları kullanılarak belirlenmektedir. Uygun montaj sıralarının yön grafik temsili oluşturulmada hiyerarşik seviyeler dikkate alınmıştır. Bu çalışmada

montaj planlama elle yapıldığından, planlama mutlaka bir uzman tarafından yapılmalıdır. Ayrıca elle planlamanın diğer bir dezavantajı ise karmaşık ve zaman alıcı bir metot olduğundan ürünlerdeki parça sayısı sınırlı kalarak az parçalı ürünler için geçerli olmaktadır.

## 2.2. Unsur Tabanlı Yaklaşımlar (Feature Based Approaches)

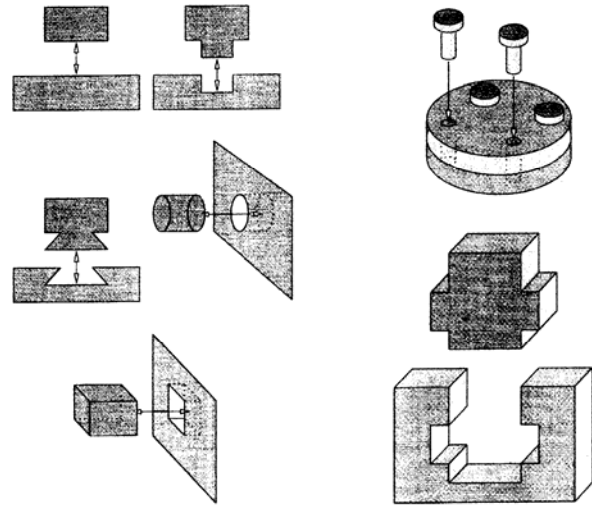
Unsurular günümüzde tasarım ve imalat uygulamalarında yaygın olarak kullanılmakla birlikte montajda sık kullanılmamaktadır. Montaj sırası planlama, parçalar arasındaki öncelik ilişkilerini bulmak için tutucu el planlama, hareket planlama ve kararlılık analizi gibi bazı takım planlamalarına bağlıdır. Ayrıca, öncelik ilişkilerini belirlemek için imalat ve montaja ait bilgiler de gerekmektedir. Bu bilgi çoğu zaman hazır sunulmamakta veya ürün modelinde sınırlı bir seviyede olabilmektedir. Tasarımcı ürünün modelinde sadece geometrik ve topolojik bilgi ile farklı parçaların konumu veya bunlar arası bazı basit ilişkileri temsil edebilmektedir. Kararlılık analizi hareket planlama, tutucu planlama için gerekli olan bilgi ürün modelinden çıkarılmıştır. Çıkarılan bilgi kullanılarak ürüne ait montaj modeli oluşturulmaktadır. Montaj modeli üretildikten sonra bu montaj modeli analiz edilerek montaj sıra planlama gerçekleştirilmektedir.

Chao ve Chen [10] montaj parçaları ile birlikte fonksiyonel bilgiyi içeren bir montaj modeli sunmuşlardır. Bir montaj diyagramı ve sınırlama tablosundan ibaret olan model, olası olmayan konfigürasyonları süzmek için ürün konfigürasyon aşamasında bir doğrulama mekanizması olarak kullanılabilir. Montaj diyagramı farklı parçalar arasındaki montaj ilişkilerini, sınırlama tabloları ise parçaların veri ilişkilerini temsil etmektedir. Montaj analiz edilerek montaj modeli kurulmuştur. Montaj diyagramında bloklar ve düğümler, parçaları ve alt montajları temsil etmek için kullanılmıştır. Zincirler ise farklı zincir tipleri ile farklı anlamlara sahip olabilen montaj ilişkilerinin varlığını temsil etmek, blok ve düğümleri birleştirmek için kullanılmıştır. İliştirilen notasyonlar sembollerdir ve bu semboller önceden tanımlanmış bazı tablolar, matematiksel matrisler veya montaj diyagramlarında temsil edilemeyen bazı standart tanımlamaları izleyebilir. Bu semboller montaj diyagramında mevcut bir montaj ilişkisinin açıklanması ve tanımlanmasına odaklanmıştır ve montaj sınırlamalarını tanıtmada yararlıdır. Montaj modelleme işlemi, montaj diyagramı ve bu diyagrama iliştilmiş olan notasyonları içeren montaj bilgisini zorlayan birtakım prosedürlerdir. İşlemin başlıca görevleri bir ürünü ayırtmak ve montaj ilişkilerini analiz etmektir.

Werling ve Wild [11] montaj planlama algoritmalarının gereksinimlerini karşılayan ve özellikle model tabanlı montaj planlama için faydalı olan yeni bir ürün modeli önermişlerdir. Model, iş parçalarının daha hassas ve daha esnek temsilini sağlamıştır. Model, biri nesnenin geometri ve topolojisini tanımlayan, diğeri de nesnenin teknolojik özelliklerini tanımlayan iki kısımdan ibarettir. Geometrinin hassasiyetindeki artış analitik temsilli çok yüzlü bir modeli geliştirerek başarılmıştır. Nitelik ve unsurların esnek temsili diğeri planlama alanlarına nispeten modelin genelliğini artırmaktadır. Teknolojik model fiziksel niteliklerin ve biçim unsurlarının temsilini içermektedir. Bu ürün modeli ile bir nesne için uygulamaya has nitelik ve unsur setleri tanımlanabilmektedir. Bu çalışmada geliştirilen veri modeli, üç farklı bakış açısından hibrittir. İlki, iki farklı biçim temsili entegre etmiştir. İkincisi, iki farklı iç temsili kullanmış ve sonuncusu ise hem geometrik hem de teknolojik bilgiyi tek bir modelde birleştirmiştir.

Eng, vd. [12] montaj sıra planlama otomasyonu için unsur tabanlı bir model sunmuşlardır. Bir ürün için temel montaj modelleme stratejisi, bir ürünün parçalarının eşleşen unsurları tabanlıdır. Bu çalışmanın amacı BDT modeli ile bir ürünün montaj planlamasını entegre etmek, doğru ve pratik bir montaj sırası üretmek ve planlama işlemini gerçekleştirmek için bir yazılım sistemi kurmaktır. Bu çalışmada montaj planlama için demontaj yaklaşımı kullanılmıştır. İki eşleşen unsur arasındaki serbestlik derecesi bilgisi kinematik şartları karakterize etmek için kullanılmıştır. Parçanın tüm unsurlarındaki serbestlik derecesinin Boolean işlemleri, öncelik ilişkisini kurmak için kullanılan yerel serbestlik derecesini sağlamaktadır. Bir tasarımın farklı parçaları arasındaki ilişkiler geometrik muhakeme ile kurulmuş ve bir unsur tanıma sistemi geometrik muhakeme işlemini kolaylaştırmak ve öncelik bilgisini desteklemek için kullanılmıştır. Öncelik bilgisini çıkarmaya ilaveten sistem modelleme işleminin başında geometrik muhakeme ile çıkarılmayan ilişkiler kullanıcı etkileşimi ile çıkarılmıştır. Genel alanda gerçekleştirilen bir montaj işlemini temin etmek için sınır kutusu prosedürü genel çakışmaları algılamada kullanılmıştır. Yaklaşım, planlayıcıya birçok montaj sırası sunmadan çok, bir montaj sırasının türetilmesini desteklemek için bir takım kriterler kullanmıştır. Ayrıca birkaç sezgisel kural, araştırma işlemini kolaylaştırmak için kullanılmıştır. Çalışma, montaj işlemini modellemek için bir kinematik çift irtibat diyagramı kullanmıştır. Unsur eşleşme matrisleri ise unsurları aracılığıyla bağlanan iki parça arasındaki serbestlik derecesi sınırlamalarını temsil etmek için kullanılmıştır.

Holland ve Bronsvort [13] hem ferdi parçaların hem de montajın modellenmesi ve planlanması için entegre nesne tabanlı bir ürün modeli sunmuşlardır. Ürün modelindeki belirli montaj bilgisini temsil etmek için montaj unsurları kullanılmıştır. Bu çalışmada montaj unsurları ikiye ayrılmıştır. Birincisi parçalar arasındaki tutma bilgisini temsil eden tutma unsurları ve diğeri ise bağlantıları temsil eden bağlantı unsurlarıdır (Şekil 2). Bir tutma unsuru jenerik bir parça için besleme, sabitleme ve kavrama hakkındaki bilgiyi taşımaktadır. Bağlantı unsurları ise birkaç parça arasındaki belirli bir bağlantı için montaj bilgisini taşımaktadır. Bu bilgilere dayanarak bir prototip modelleme ortamı geliştirilmiştir. Ürün modeli, analiz ve planlama modüllerinde özellikle kararlılık analizi, kavrama planlama, hareket planlama ve montaj sırası planlamada başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Montaj için unsur tabanlı ürün modelleri bir yandan ferdi parça ve montaj modellemeyi diğeri yandan da modelleme ve planlamayı entegre ederek hem montaj modellemeye hem de montaj planlamaya etkin bir şekilde yardımcı olmaktadır.



**Şekil 2.** Birincil ve bileşik bağlantı unsurları [13] (Primary and compound connection features)

Masclé [14] montaj için gerekli olan çeşitli etkinlikleri desteklemek için ürün montaj unsurları sistemi olarak adlandırılan bir sistem geliştirmişlerdir. Sistem, kullanıcının katı modelleyiciden gelen geometrik temsilde açıkça sunulmayan fakat ürün modelini desteklemede faydalı olan bir takım teknolojik ve fonksiyonel unsurları çıkarmasına müsaade etmiştir. Aynı zamanda, sistem montaj işlemindeki her bir aşamada ürün modellemeye izin vermiştir. Ürün montaj unsurları sistemi bu iki özelliği ile diğeri çalışmalardan farklılaşmaktadır. Bu sistemde tanımlanan veritabanı yapısı, kullanıcının durumları ürün modeline entegre etmesine ve sistemin

montaj durumu ile yapısını karşılaştırarak her bir duruma ilişkin unsurları otomatik olarak çıkarmasına izin veren bir sıra yapı tabanlıdır. Sistemde kullanılan nesne tabanlı yapı aynı zamanda kullanıcının çeşitli durumların yapılarını kaydetmesine ve tekrar üretmesine izin vermektedir. Bu çalışma çeşitli montaj aşamalarını muayene etmiş ve her bir aşama için montaj planlayıcıyı desteklemek amacıyla sistem tarafından türetilmesi zorunlu olan unsurların tipini tayin etmiştir. Katı modelleyici tarafından doğrudan desteklenmeyen, geometrik olmayan unsurlar ürün modelleme aşamasında ilave edilmektedir.

Zha ve Du (15) unsur tabanlı BDT sistemi, ürün modelleme sistemi, montaj planlama sistemi ve montaj değerlendirme sistemini entegre eden bir bilgi tabanlı uzman sistem geliştirmiştir. Entegre bilgi tabanlı montaj planlama sistemi için ürün modellemenin amacı, STEP standardını (Standard for the Exchange of Product Model Data-Ürün Model Verisi Dönüşümü için Standart) kullanarak ürün model verisini temsil etmek, yönetmek ve dönüştürmek için mekanizmalar sağlamaktır. Geliştirilen sistemin merkezi elemanı ürün modelidir. Montaj tabanlı ürün modeli, montaj tasarımı ve planlamanın ihtiyaçlarını karşılamak için çok sayıda STEP ögesi olarak tanımlanmıştır. Bir ürün veya ürünün parçaları tasarlanır tasarlanmaz, ürün verisi bir unsur tabanlı BDT sisteminde türetilmektedir. Daha sonra bu veri, STEP öğelerinin numuneleri olarak ürün modelinde saklanmaktadır. Ürün modelleme sisteminin çıktısı montaj işlem planlama ve montaj edilebilirlik değerlendirmesi vs. için kullanılabilen ferdi parçalar ve montajlar veya ürün modelleridir. Sistem, aynı zamanda DXF (Drawing Interchange Format-Çizim Dönüşüm Formatı) ve STEP tabanlı modelleme sisteminden ferdi parçaların ve montajların gönderilen BDT dosyalarını kabul edebilmektedir. Unsur tanıma teknikleri kullanarak montaj editörü parçalar ve ferdi parçalar üzerindeki unsurlar arasındaki bağlayıcıları ayırabilmektedir. Montaj planlama sistemi gerekli bilgiyi bir ön işlemci vasıtasıyla ürün modelinden elde etmekte ve olası tüm montaj sıralarını üretmektedir. Montaj değerlendirme sistemi ise montaj edilebilirliği ve montaj sıralarını içeren tasarım ve planlama sonuçlarını değerlendirmektedir. Bu sonuçlar, toplam montaj zamanı veya montaj değerlendirme indeksi ve montaj sıra değerlendirme indeksinin azaltılması bakımından değerlendirilmiştir.

Latombe vd. [16] toleranslı parçalardan oluşan ürünlerin montaj sıralarını üretmek için algoritmalar geliştirmişlerdir. Bu algoritmalar uygun tolerans değerlerinin seçiminde tasarımcıları desteklemek için etkileşimli bir BDT ortamında çalıştırılmaktadır. Bu çalışma, montajdaki parçaların toleranslı bir geometriye sahip olduğunu varsaymaktadır. Bunun

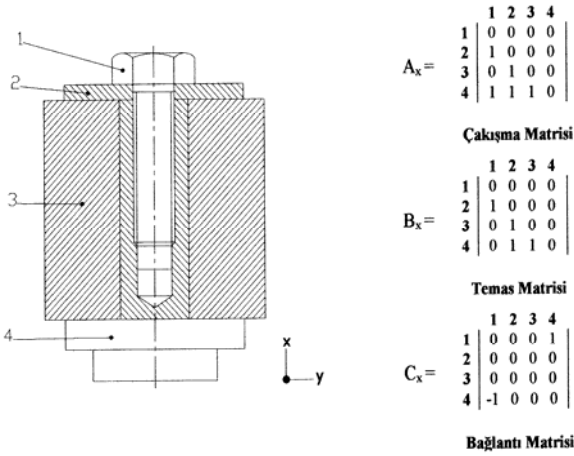
başlıca faydası, bir ürünün tayin edilen toleranslar içinde parçaların olası tüm örnekleri için mümkün olan sonsuz hareketler ile bir montaj sırasını kabul edip etmeyeceğine karar veren etkin bir prosedürün tanımlanmasıdır. Eğer ürün böyle bir sırayı kabul ederse prosedür bu sırayı türetebilmektedir. Böyle bir sıranın var olmadığı durumlarda toleranslı ölçülerin sadece bazı değerleri için mümkün olan montaj sıralarını türeten diğer bir prosedür sunulmuştur. Eğer prosedür böyle bir sırayı da türetmezse o zaman ürünün montaj edilebilir bir numunesi yok anlamına gelmektedir. Bu iki prosedür çokgen biçimli parçalardan oluşan iki boyutlu montajlar ve çok yüzü parçalardan oluşan üç boyutlu montajlar için tanımlanmıştır. Fakat sadece birinci prosedür uygulanabilmektedir.

### 2.3. Matris Tabanlı Yaklaşımlar (Matrix Based Approaches)

Montaj veya demontaj sıralarının otomatik belirlenmesi için ürünü oluşturan parçalar arasındaki konum ve bağlantı bilgilerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu ilişkisel verinin elde edilmesi için genel kriter, kartezyen koordinat sisteminin üç eksen boyunca parçaların BDT ortamında hareket ettirilmesinden ibarettir. Bu hareketler diğer parçalar ile kesişmelerin teşhis edilmesine ve demontaj sıralarının elde edilmesine izin verir. Basit bir hareket ettirme ile algılanamayan bağlantılar ile ilgili bilgiler BDT ortamında tasarım aşamasında kullanıcı tarafından sağlanabilmekte ve uygun bir şekilde depolanabilmektedir. Daha kolay ve etkin bir temsil elde etmek için BDT ortamından çıkarılan tüm bilgi bir matematiksel modelde yapılandırılmaktadır. Böylece, bir ürünün parçaları arasındaki çakışma, temas, bağlantı, hareket, VE/VEYA ilişkileri matris şeklinde temsil edilerek montaj planlamaya girdi olarak kullanılabilir. Bu hareketler diğer parçalar ile kesişmelerin teşhis edilmesine ve demontaj sıralarının elde edilmesine izin verir. Basit bir hareket ettirme ile algılanamayan bağlantılar ile ilgili bilgiler BDT ortamında tasarım aşamasında kullanıcı tarafından sağlanabilmekte ve uygun bir şekilde depolanabilmektedir. Daha kolay ve etkin bir temsil elde etmek için BDT ortamından çıkarılan tüm bilgi bir matematiksel modelde yapılandırılmaktadır. Böylece, bir ürünün parçaları arasındaki çakışma, temas, bağlantı, hareket, VE/VEYA ilişkileri matris şeklinde temsil edilerek montaj planlamaya girdi olarak kullanılabilir.

Lee ve Kumara [17] tasarım aşamasında karmaşık bir montajı analiz etmek ve montaj sıralarını etkin bir şekilde üretmek için bir şema geliştirmişlerdir. Tasarımcı bilgisi, tercih modül setini elde etmek için kullanılmıştır. Setin modülerliği test edilmektedir ve hiyerarşik olarak montaj sıralarını üretmek için kullanılmaktadır. Bu şema ile türetilen sıralar, modüller için tasarımcı tercihini yansıtmış ve bir montaj tasarımından montaj hattı yerleşimini tasarlamayı kolaylaştırmıştır. Montaj sıraları parçaların demontaj sıralarının türetilmesi ile elde edilmiştir. Bir montajdan belirli bir parçanın demontajı serbestlik derecesi ve çakışma derecesi ile ilişkilendirilmiştir. Demontaj yönleri  $x$  ve  $z$  yönleri olarak düşünülmüş ve bu yönler göre matrisler ve süpürme tablosu yapılandırılmıştır. Montaj ve demontaj sıraları matrisler ve süpürme tablosu aracılığıyla türetilmiştir.

Dini ve Santochi [18] bir ürünün alt montaj ve montaj sıralarının seçimi için esnek montaj planlama sistemi olarak adlandırılan bir montaj planlama yazılım sisteminde uygulanan bir prosedür geliştirmişlerdir. Daha kolay ve daha etkin temsil elde etmek için prosedür, BDT aşamasında çıkarılan tüm bilgiyi bir matematiksel modelde planlamıştır. Bundan dolayı, sistemde bir ürünün parçaları arasındaki çakışma, temas ve bağlantılar sırası ile çakışma, temas ve bağlantı matrisinde temsil edilmiştir (Şekil 3). Olası alt montajlar bu matrislere uygulanabilir bazı matematiksel şartları sağlayarak otomatik olarak algılanmıştır. Alt montaj ve son ürün için olası montaj sıraları ise çakışma ve bağlantı matrislerinden elde edilen alt matrisler ve daraltılmış matrisler analiz edilerek türetilmiştir. Çalışmada parçalar sadece doğrusal yer değiştirmeye göre analiz edilmiş, dönülme yer değiştirmeler ise dikkate alınmamıştır.



**Şekil 3.** Örnek bir ürün ve ürünü temsil eden matrisleri [18] (A sample product and matrices represented it)

Dilipak ve Özdemir [19, 21] bilgisayar destekli montaj çalışmalarında karşılaşılan en önemli zorluklardan birisi olan montaj sıralarının teşhisi ve bu sıraların grafiksel temsilini gerçekleştiren bir çalışma yapmıştır. BDT ortamında modellenen bir ürünün olası tüm montaj sıraları kullanıcı etkileşimi olmaksızın tespit edilmekte ve bu sıralar bir irtibat sıra grafiğinde temsil edilerek tasarımcıya sunulmaktadır. Geliştirilen programa girdi olarak ürünün montajlı haldeki katı modeli kullanılmıştır. Montaj sırasının otomatik algılanması için, girdi ürünün parçaları arasındaki konum ve bağlantı ilişki bilgileri gerekmektedir. Bunun için, ürünün her bir parçasının hacim, kütle, üç boyutlu uzayda kapladığı alanlar vs. bilgileri elde edilmiş ve sırayla her bir parça 3 ana eksen ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) boyunca hareket ettirilmiştir. Bu işlemler sayesinde parçalar arasındaki temas ve parçaların demontajı sırasındaki çarpışmalar tespit edilerek temas ve hareket fonksiyonları otomatik olarak türetilmiştir. Oluşturulan bu fonksiyonlar vasıtasıyla olası tüm montaj sıraları ve

bazı sınırlamalara göre montaj sıraları türetilmiştir. Bu montaj sıraları irtibat sıra grafiği şeklinde otomatik olarak temsil edilmiş ve sonra uygun olmayan montaj sıraları bu grafikten elimine edilerek nihai irtibat sıra grafiği oluşturulmuştur. Yapılan bu çalışma diğer çalışmalara göre daha entegre bir çalışma olarak gözükmektedir. Çünkü ürünün BDT modelinden olası montaj sıraları kullanıcı etkileşimine ihtiyaç duyulmadan gerçekleştirilmiştir. Fakat algoritmadaki hesaplama karmaşıklığından dolayı, plan üretme zamanı oldukça fazla olduğundan üründe temsil edilen parça sayısı sınırlı kalmıştır.

Zhang vd. [22] otomobil gövde montajının olası tüm montaj sıralarını otomatik çıkarmak için bir prosedür tanımlamışlardır. Bu prosedür bağlantı ve daraltılmış matris tanımlamaları vasıtasıyla elde edilen otomobil gövdesinin matematiksel modeli tabanlıdır. Çalışmada iki matris, parçalar ve alt montajlar arasındaki öncelik sınırlama bilgisini temsil eder. Olası alt montajlar bu iki matrise uygulanabilir bazı matematiksel şartları sağlayarak otomatik olarak algılanmaktadır. Her bir alt montaj ve tüm ürün için olası tüm montaj sıraları baştaki bağlantı alt matrisi ve daraltılmış matrisi tekrar düzenleyerek türetilmektedir. Çalışmada montajın öncelik bilgisi yönlü bir grafikte tanımlanmıştır. Bu yönlü grafik birtakım etiketli noktalar ve bu noktaları birbirine bağlayan kenarlardan oluşmaktadır. Her bir nokta bir sayı ile etiketlenmiş bir parçayı temsil etmektedir. Her bir kenar ise, iki parça arasındaki bir ilişkiyi göstermektedir. Bu ilişki iki parça arasındaki bağlantı ve nispi montaj önceliğinin yapısını içerir. Grafik teorisine göre yönlü grafikte gösterilen ilişkiler bire bir bağlantı matrisine haritalanabilmektedir. Montaj sıraları, bağlantı matrisi ve daraltılmış matris analiz edilerek her bir alt montaj ve son ürün için türetilmektedir. Fakat çalışma sadece otomobil gövdesinin montaj planlaması ile sınırlıdır.

Gottipolu ve Ghosh [23] çalışmalarında bir ürünün montajında kullanılacak en iyi sırayı tayin etmek için ilk önce olası tüm montaj sıralarını teşhis etmiş ve sonra en iyi montaj sırasını seçmek için bu sıraları değerlendirmişlerdir. Bununla birlikte, çok sayıda olası sıralar olduğundan etkin ve özlü bir temsil metodu gerekmektedir. Bu çalışmada olası tüm montaj sıralarını uygun bir şekilde temsil etmek ve nicel ve nitel kriterleri kullanarak bu sıraları değerlendirmek için montaj sıra grafiği olarak adlandırılan bir temsil metodu geliştirilmiştir. Montaj sırasının tayini için sunulan yaklaşım montajın BDT modelinin oluşturulmasıyla başlar. PADL-2 katı modelleme paketi, WCS (World Coordinate System-Dünya Koordinat Sistemi)'de geometri ve konumlarını temsil eden montajın ferdi parçalarının geometrik modellerini oluşturmak için kullanılmıştır. Montajın geometrik modelinden ilişki bilgilerin çıkarılması iki

aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, parçaların her bir çifti arasındaki temas tayin edilmiştir. İkinci aşamada ise her bir parçanın diğerinden olası demontaj yönelimi tayin edilmiştir. Montajın uygulanabilirliğini doğrulamak için bağlanabilirlik ve öncelik sınırlamaları olarak iki tip sınırlama dikkate alınmış ve bu sınırlamalar doğrultusunda olası tüm montaj sıraları türetilmiş ve bu sıralar bir montaj sıralama grafiğinde temsil edilmiştir. Montaj sıralama grafiğindeki düğümler olası alt montajları karakterize eden parça setlerinin alt setidir. Bundan dolayı, her bir düğüm bir alt montajı karşılar. Grafiğin ilk düzeyinde düğümlerde ferdi parçalar temsil edilirken son düzeyinde ise montajı yapılmış ürün temsil edilmiştir. Bu grafik üzerinde birtakım nicel ve nitel kriterler kullanılarak kabul edilemeyen montaj durumları ve montaj görevleri elimine edilmiş ve en uygun bir montaj sırası elde edilmiştir.

#### 2.4. Optimizasyon Teknikleri Kullanan

##### Yaklaşımlar (Approaches used the optimization techniques)

Son yıllarda optimizasyon tekniklerinin montaj planlamada kullanılmasıyla en uygun montaj sıralarının ürünün BDT modeline bağlı kalmaksızın türetilmesine imkan sağlanmıştır. Montaj planlamada kullanılan optimizasyon teknikleri, tavlama benzetimi (Simulated Annealing) ve genetik algoritmalar (GA-Genetic Algorithms) olarak sınıflandırılabilir. Tavlama benzetimi, optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan bir sezgisel yaklaşım olup montaj planlamada sık kullanılmamaktadır. Metallerin tavlama işlemine benzediğinden bu ismi almıştır. Katı cisimlerin özellikle metallerin soğurken mükemmel atomik dizilişlerini örnek alan optimizasyon tekniklerinin en basitidir. İçerisinde rasgelelik barındırır. Soğutma işlemi bu algoritmada daha iyi sonuçların bulunmasını sağlayacak yeni komşu çözümlerin türetilmesini sağlayan üstel bir ifadedir. Bu yöntem yerel en uygun çözümleri elimine etmek için iyi bir yöntemdir. Son yıllarda montaj planlamada sıkça kullanılan genetik algoritmalar ise süreci doğal evrime benzetir. Bu nedenle üreme, çaprazlama, mutasyon gibi doğal evrimde kullanılan işlemcileri içerir. Genetik algoritma, çözüm bilgisinin hiç olmadığı veya çok az olduğu bir durumla aramaya başlar. Çözüm çevreden gelen etkileşime ve genetik işlemcilerle bağlıdır. GA, aramaya paralel bir şekilde, birbirinden bağımsız noktalardan başlar, bu nedenle alt en uygun çözümlere takılma olasılığı azdır. Bu nedenle GA, karmaşık arama problemleri (birden çok alt çözüm kümesi olan) için en iyi optimizasyon tekniği olarak bilinmektedir.

Schmidt ve Jackman [24] maliyet ve performans ölçümlerini kullanarak en iyi montaj sırasını ve istasyonların setini tayin eden bir metot

geliştirmişleridir. Ürün tasarım aşaması sırasında bu prosedürün uygulaması tasarımcının tasarım kararlarının şekillenmesine potansiyel olarak yardımcı olur. Örneğin, eğer tasarımcı montaj zamanını veya irtibatın yapısını ürün geometrisinde değişiklikler düşündüğünde, bu metot, ürünün birim maliyetine montajın etkisini hızlı bir şekilde değerlendirebilmektedir. Değerlendirmeden sonra, tasarımcı sonuçlar tatmin edici değilse, önerilen değişiklikleri tekrar gözden geçirebilmektedir. İlâveten, sistem montaj sırasını ve montaj istasyonu konfigürasyonunu kapsayan prototip bir üretim sistemini türetmektedir. Bu çıktılar işlem planlama aşamasında kullanılabilir. Metot olarak problemin hiyerarşik yapısını benimseyen tavlama benzetimi tabanlı çok kademeli bir optimizasyon yaklaşımı kullanılmıştır. Problem, istasyonların sayısı, istasyon tipleri ve irtibatların tayini üzere üç kademeye ayrıştırılmıştır. Prosedür, en iyi prototip üretim sistemini türeterek ve tayin edilmemiş irtibatları elimine ederek en uygun çözümü bulabilmektedir.

Lazzerini ve Marcelloni [25] genetik algoritmalar vasıtasıyla montaj planlarını türeten ve değerlendiren bir çalışma sunmuşlardır. Çalışmalarında sadece dikey eksen boyunca parçaları montaj edebilen robotlardan oluşan montaj hatları üzerine odaklanmışlardır. Gelişigüzel türetilen ve genellikle uygun olmayan montaj sıralarından başlayarak çaprazlama ve mutasyon işlemcileri, GA'nın olası en uygun montaj sıralarının çıkarılmasında etkin rol oynamıştır. GA'ların optimizasyon problemlerini çözmek için uygun metot olduğu düşünülmüştür. Doğal seçim prensiplerini taklit ederek GA'lar eğer uygun bir şekilde şifrenirse gerçek problemler için çözümler geliştirebilmektedir. Verilen bir problem için her bir potansiyel çözüm kromozom olarak adlandırılan ikili veya gerçek diziler olarak kodlanmaktadır. Genellikle GA'lar kromozomların gelişigüzel olarak üretilen baştaki popülasyonu ile başlar ve her bir aşamada yeni bir popülasyon için genetik işlemcileri (çaprazlama ve mutasyon) kullanarak en uygun montaj sıralarını türetir.

Hong ve Cho [26] "Robotik montaj sırasını türetmek için genetik algoritma tabanlı bir yaklaşım" isimli çalışmada robotik montaj için montaj sınırlamalarını karşılayan ve montaj maliyetini azaltan en uygun sıraları türetmek için genetik algoritma tabanlı bir metot geliştirmişlerdir. Bu metotta bir montaj sırası montaj maliyeti yönünden uygun olan sıra olarak temsil edilmiştir. Önce, bir takım sıralardan ibaret olan bir popülasyon oluşturulmuştur. Daha sonra, popülasyon sıralarının uygunluğu tabanlı çaprazlama ve mutasyon gibi genetik işlemler vasıtasıyla yeni nesle evrilmiştir. Tekrarlayan evrim sonucunda, en uygun sıralar şeklinde temsil edilen



montaj sıraları son aşamada bulunmuştur. Yaklaşımın etkinliğini göstermek için elektrik rölesi ve otomobil alternatörü gibi endüstriyel ürünlere uygulanmış ve sonuçların robotik montaj sıraları ve montaj maliyeti açısından tatminkar olduğu görülmüştür.

Smith ve Smith (27) “Otomatik montaj planlama için gelişmiş bir genetik algoritma” isimli çalışmasında geleneksel genetik algoritmayı kullanan montaj planlayıcıdan en uygun ve en uyguna yakın çözümleri daha güvenli, daha çabuk bulan gelişmiş bir genetik algoritma sunmuştur. Algoritma araştırma performansını geliştirmek için uygunluğu dikkate almadan verilen bir montaj jenerasyonunun üyeleri dışında geniş bir araştırma yapmakta ve kullanıcı tanımlı sınır şartları sağlanana kadar araştırmaya devam etmektedir.

Smith “Genetik montaj planlamada prematüre çözümü azaltmak için çoklu genetik işlemciler kullanma” [28] isimli çalışmasında, genetik montaj planlamada klasik çaprazlama ve mutasyon işlemcilerine ilaveten iki yeni işlemci (kes ve yapıştır ile kır ve ekle işlemcileri) kullanmıştır. Genetik işlemcilerin çeşitliliği montaj planlayıcıya hep aynı çözümleri bulma işleminden kaçınma ve en uygun çözüm şansını artırma konusunda yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan dört işlemcili genetik algoritma ile klasik, sadece çaprazlama ve mutasyon işlemcilerini kullanan iki işlemcili genetik algoritma ile elde edilen uygunluk ve çalışma zamanı değerleri Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelge 1’den de anlaşıldığı gibi maksimum ve ortalama montaj sırası uygunluğu iki işlemcili genetik algoritmaya göre artmakta iken, algoritmanın çalışma zamanı 180.07 saniyeden 18.31 saniyeye indirilerek iki yeni işlemci sayesinde genetik algoritmanın klasik yöntemlere göre daha verimli çalışması sağlanmıştır.

**Çizelge 1.** Transmisyon için çalışma zamanı sonuçları [28] (Run time results for transmission)

	Maksimum uygunluk	Ortalama uygunluk	Çalışma Zamanı
İki genetik işlemci	21	20.36	180.07 sn
Dört genetik işlemci	22	21.06	18.31 sn

## 2.5. Kural Tabanlı ve Uzman Sistem Kullanan Yaklaşımlar (Rule Based and Approaches Used an Expert System))

İmalat sektöründe yapay zeka uygulamaları daha çok tecrübeye ve bilgiye dayalı kararların alınmasını gerektiren aşamalarda oldukça fazla kullanılmaktadır. Uzman sistemler genelde fazlaca uzman yardımına ihtiyaç duyan tasarım, imalat uygulamaları ve montaj gibi oldukça çok karar gerektiren problem çözümlerinde yaygın olarak kullanılır. Bu tür bir montaj planlama sisteminde herhangi bir montaj

analizi kullanıcı etkileşimli olarak yapılarak ürüne ait montaj sıraları elde edilebilmektedir. Üretim kuralları oluşturmak için bilgi tabanında temsil edilen montaj bilgisi otomatik montaj planlamaya izin verir. Bir uzman sistem, ürünü oluşturan parçalara ait geometrik bilgiyi kullanmadan ürün parçaları arasındaki ilişkilerden parçaların montaj edilebilirliğini belirleyebilir.

De Fazio ve Whitney [29] “Tüm mekanik montaj sıralarının basitleştirilmiş türetimi” isimli çalışmalarında Bourjault’un montajı oluşturan parçaların seti için seri kurallardan algoritmik olarak geçerli tüm montaj sıralarını türeten metodunu benimsemişlerdir. Bu metodu geliştirerek, çok sayıda parçası olan montajlara montaj analizinin bu tekniğinin uygulanmasını daha pratik ve basit hale getirmişlerdir. Bu çalışmada kurallar, parçaların eşleşmeleri hakkındaki soruların bir serisine verilen cevaplardan türetilmektedir. İki metot arasındaki göze çarpan fark, montaj sıralarının algoritmik türetilmesine izin veren ilişkiler için sorulan soruların formunda ve sayıdadır. Bourjault’un metodunda  $2l^2$  sayıda soru bunun dışında ilave sorular gerektirirken, geliştirilen bu çalışmada  $2l$  sayıda soru gerektirmektedir. Burada  $l$  parçalar arasındaki ilişkilerin sayısıdır. Çalışmada Bourjault’un metoduna göre soru sayısı azalmış olsa da, yine de kullanıcı etkileşimine fazlaca gidilmiş ve ürünü oluşturan parçalar arasındaki montaj ilişkileri belirlemek için geometrik muhakeme kullanılmamıştır.

Steven ve Lai [30] ürün montaj analizi ve hassasiyeti için bir uzman tasarım sistemi geliştirmişlerdir. Montaj için bilgi tabanlı tasarım sistemi montaj metodunun tayini, elle montaj için analiz, otomatik montaj için analiz ve tekrar tasarım için analiz olmak üzere dört modülden meydana gelmiştir. Montaj metodu, üretim fonksiyonları kriterleri kullanılarak program tarafından tayin edilmektedir. Elle ya da otomatik montaj için analiz montajın etkinliğini artırmak için gerçekleştirilmektedir. Elle montaj analizinde montajdaki parçalar, montaj zamanı, montaj maliyeti ve parçaların minimum teorik sayısını bulmak için analiz edilmiştir. Otomatik montaj analizinde ise montajın nicel ve nitel analizleri yapılmıştır. Son modülde ise montaj işleminde tasarımın geliştirilmesi, etkinliğin artırılması, toplam maliyet ve toplam zamanın azaltılması için tasarımcıya bazı öneriler sunulmaktadır.

Zha vd, [31] montaj tabanlı tasarım için bir bilgi tabanlı uzman tasarım sistemi geliştirmişlerdir. Montaj tabanlı tasarım uzman sistem adını verdikleri yaklaşım, bir eşzamanlı mühendislik ortamında tasarım, montaj planlama, montaj edilebilirlik analizi ve değerlendirmesini entegre etmek için yapılandırılmış ve tasarımcının, tasarım işleminin

herhangi bir aşamasında ürünü üretmesine, analiz etmesine ve/veya modifiye etmesine izin vermek için tasarlanmıştır. Yaklaşım tamamen etkileşimli bir modda çalışmakta ve ürün yapısı, parça sayısı, parça tasarımı ve parça malzemesi gibi belirli bir konu ile ilişkilendirilen bilgi sisteme dahil edilmektedir. Sistem bir ürünün parça sayısını en aza indirmek ve belirli bir ürün için en ekonomik montaj tekniğini seçmek için tasarımcıyı yetkilendirmiştir. Montaj için ürün tasarımı hakkındaki bütün tavsiyeler ve en uygun montaj sırasını içeren montaj sıraları, kullanıcı sistemde sunulan sorulara etkileşimli olarak cevapladığında geniş bir montaj bilgi tabanından otomatik muhakeme, araştırma, hesaplama ve simülasyon vasıtasıyla türetilmekte ve canlandırılabilir. Tabii ki, her ürünün montajı için en uygun montaj sıraları, kullanıcı sistemde sunulan sorulara etkileşimli olarak cevapladığında geniş bir montaj bilgi tabanından otomatik muhakeme, araştırma, hesaplama ve simülasyon vasıtasıyla türetilmekte ve canlandırılabilir. Tabii ki, her ürünün montajı için en uygun montaj sıraları, kullanıcı sistemde sunulan sorulara etkileşimli olarak cevapladığında geniş bir montaj bilgi tabanından otomatik muhakeme, araştırma, hesaplama ve simülasyon vasıtasıyla türetilmekte ve canlandırılabilir.

Seo vd, [32] unsur tabanlı tasarım programlarında tasarlanan gemi parçalarının BDT modellerinden montaj sıralarının türetilmesi ve bu sıralamaya göre montaj için robotların programlanması tabanlı bir çalışma yapmıştır. BDT modellerinden veri elde edilmesi için IGES (Initial Graphics Exchange Specification-Grafik Başlangıç Dönüşüm Tanımı) veri dönüşüm formatı kullanılmıştır. Tasarlanan ürünlerdeki parçalar arasındaki ilişkiler bir arayüz programla çıkarılmıştır. Bu ilişkiler sayesinde montaj sıra planlayıcı tarafından durum tabanlı muhakeme kullanılarak ürüne ait montaj sırası çıkarılmıştır. Aynı zamanda, bu montaj sıralarına göre kaynak işlemleri için robot programları türetilmiştir. Çalışmada olası tüm montaj sıraları çıkarılmamış ve türetilen montaj sıralarının en uygun montaj sıraları olduğu konusunda bir bilgi verilmemiştir. Aynı zamanda, algoritma basit parçalara uygulanmış, karmaşık ve çok sayıda parçalı ürünler için uygulama verilmemiştir.

Dong vd, [33] montaj planlama problemini çözmek için uzman sistem tabanlı bir yaklaşım sunmuşlardır. Çalışmaya girdi olarak BDT ortamında tasarlanan B-Rep (Boundary Representation-Sınır Temsili) modellerinin basitleştirilmiş hali kullanılmıştır. Basitleştirme işlemi BDT modellerinin daha kolay değerlendirilmesi için gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için rol tabanlı model basitleştirme yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada sunulan uzman sistem tabanlı yaklaşım, montaj planlama problemini geometri tabanlı muhakeme ile bilgi tabanlı muhakemeyi birleştirerek çözmektedir. Bu da montaj için daha olası ve pratik sıraları tayin etmek için planlamanın karmaşıklığını ve yükünü önemli derecede azaltmaktadır. Olası ve pratik çözümler bulduktan sonra, çalışma kullanıcıya sanal ortamda simülasyon ve değerlendirme imkanı vererek türetilen sıraların verimliliğini kullanıcının görmesini sağlamaktadır. Çalışmada karmaşık geometri parçalar ele alınmış olsa da üründe temsil edilen parça sayısı sınırlı kalmıştır.

### 3. MONTAJ PLANLAMA YAKLAŞIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF ASSEMBLY PLANNING APPROACHES)

Montaj hattının tasarımı için tüm olası ve en uygun montaj sıralarının tespit edilmesi son yıllarda önemli bir araştırma konusudur. Bu alandaki son çalışmalar oldukça kısa sürede mümkün olduğunca kullanıcı etkileşiminden uzak, en uygun ve en uyguna yakın montaj sıraları üretmeyi ve bu sıraları gerçek bir montaj sistemine uygulamayı hedeflemiştir. Montaj sıralarının elde edilmesi iki nedenden dolayı çok zordur. İlki, geçerli olası montaj sıralarının sayısı, az sayıda parçadan oluşan üründe bile fazla olabilmekte iken, parça sayısı çok olan ürünlerde ise şaşırtıcı derecede çok olabilmektedir. İkinci ise, küçük tasarım değişiklikleri montaj sıralarının uygun seçeneklerini tamamen tekrar düzenlemeyi gerektirebilir. Montaj sırası planlama elle ya da bilgisayar destekli olarak yapılabilmektedir. Elle yapılacak montaj planlama zaman alıcı ve uzmanlık gerektirmektedir. Bilgisayar destekli montaj sıra planlama ise BDT ortamında tasarlanan ürünün geometrik modelini veya üründeki parçalar arasındaki ilişkileri girdi kabul ederek ürünün montajını yapmak için montaj işlemlerinin sırasını ve tipini bilgisayar tarafından yarı otomatik (kullanıcı etkileşimli) veya otomatik olarak yapabilmektedir. Fakat, bilgisayar destekli yapılmasına rağmen montaj planlama çalışmaları hala istenen seviyeye gelememiştir. Günümüzde, bilgisayar destekli montaj sırası planlama işleminin tamamen otomatik olması yönünde çalışmalara devam edilmektedir. Bu alanda yapılan çalışmaların amacı, yapılmış çalışmaların eksikliklerinin giderilerek daha verimli bir montaj sistemi kurmak ve montaj alanında tam otomasyon sağlamaktır. Özellikle, montaj sıralarının belirlenmesi aşamasında hesaplama karmaşıklığından dolayı harcanan zaman çok fazla olduğundan bu zamanın azaltılması ve en uygun montaj sıralarının bulunarak montaj hattının verimini artırmak için çalışmalar yoğunlaşmıştır. Çizelge 2’de bu çalışmada ele alınan montaj planlama yaklaşımlarının sistemin girdisi, çıktısı ve sistemde kullanılan işlem tipine göre bir değerlendirmesi verilmiştir.

Çizelgeden de anlaşılacağı üzere son yıllarda yapılan çalışmaların hemen hemen tamamı bilgisayar desteğinde geliştirilmiş olup, kullanıcı etkileşimine oldukça az gidilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda bu çalışmalarda kullanıcının tanımladığı bilgiler değil, daha çok BDT veritabanından veri çıkarılmaya çalışılarak tam otomasyon yolunda adımlar atılmıştır.

Çizelge 3’te ise bu makalede ele alınan montaj planlama yaklaşımlarının belirlenen değerlendirme kriterlerine göre değerlendirilmesi verilmiştir.

**Çizelge 2.** Montaj planlama için geliştirilen yaklaşımlar (Approaches developed for assembly planning)

Yazar	Yılı	Yaklaşım	Girdi	Çıktı	İşlem Tipi
De Mello, Sanderson	1990	Grafik tabanlı montaj planlama	Ürün Bilgisi	En uygun montaj sırası	Otomatik
Baldwin, Abel, Lui, De Fazio, Whitney	1991	Grafik tabanlı montaj planlama	İrtibat grafiği	Tüm olası ve en uygun montaj sıraları	Kullanıcı etkileşimli
Arieh, Kramer	1994	Grafik tabanlı montaj planlama	Parça, temas ve öncelik ilişkileri listesi	Tüm olası montaj sıraları	Otomatik
Gu, Yan	1995	Grafik tabanlı montaj planlama	Ürünün 2 boyutlu BDT modeli	Montaj sıraları	Otomatik
Ko, Lee	1997	Grafik tabanlı montaj planlama	Montajdaki parçaların eşleşme şartları	Montaj prosedürü ve öncelik grafiği	Otomatik
Chakrabarty, Wolter	1997	Grafik tabanlı montaj planlama	Parçalar arasındaki yapısal ilişkilerin hiyerarşik temsili	En uyguna yakın montaj sıraları	Otomatik
Zorc, Noe	1998	Grafik tabanlı montaj planlama	Uzaysal ilişkiler tabanlı montaj temsili	En uygun montaj sırası	Otomatik
Börklü, Sinanoğlu	2001	Grafik tabanlı montaj planlama	Montaj bağlantı grafiği	Uygulanabilir montaj sıraları	Elle
Niu, Ding, Xiong	2003	Grafik tabanlı montaj planlama	Eşleşme ilişkisi ve hiyerarşik ilişki grafiği	Tüm olası ve en uygun öncelik grafiği	Otomatik
Werling, Wild	1994	Unsur tabanlı montaj planlama	Ürünün 3 boyutlu modeli	Otomatik montaj planlama için ürün modeli	Otomatik
Latombe vd.	1996	Unsur tabanlı montaj planlama	Ürünün 2 veya 3 boyutlu modeli	Montaj sıraları	Kullanıcı etkileşimli
Eng, Ling, Olson, McLean	1999	Unsur tabanlı montaj planlama	Ürünün BDT modeli	Montaj sıra planlama için unsur tabanlı montaj modeli	Otomatik
Van Holland, Bronsvort	2000	Unsur tabanlı montaj planlama	Montaj unsurlarını içeren BDT modeli	Montaj modelleme ve planlama için ürün modeli	Otomatik
Chao, Chen	2001	Unsur tabanlı montaj planlama	Ürünün BDT modeli	Montaj analizi için montaj modeli	Otomatik
Zha ve Du	2002	Unsur tabanlı montaj planlama	Ürünün 3 boyutlu modeli	Tüm olası montaj sıraları	Otomatik
Masce	2002	Unsur tabanlı montaj planlama	Ürünün 3 boyutlu modeli	Montaj analizi için montaj modeli	Otomatik
Dini, Santochi	1992	Matris tabanlı montaj planlama	Çakışma, temas ve bağlantı matrisleri	Tüm olası montaj sıraları ve alt montajlar	Otomatik
Lee, Kumara	1994	Matris tabanlı montaj planlama	B ve C matrisleri ve süpürme tablosu	Montaj analizi ve planlama için şema ve montaj sırası	Otomatik
Gottipolu, Ghosh	1997	Matris tabanlı montaj planlama	Ürünün 2 boyutlu modeli	Tüm olası montaj sıraları	Otomatik
Dilipak, Özdemir	2001	Matris tabanlı montaj planlama	Ürünün 3 boyutlu BDT modeli	Tüm olası montaj sıraları	Otomatik
Zhang, Ni, Lin, Lai	2002	Matris tabanlı montaj planlama	Bağlantı ve daraltılmış matrisler	Tüm olası montaj sıraları	Otomatik
Schmidt, Jackman	1995	Optimizasyon teknikleri tabanlı montaj planlama	Ürüne ait montaj sıraları	En uygun montaj sırası ve montaj istasyonu konfigürasyonu	Otomatik
Hong, Cho	1999	Optimizasyon teknikleri tabanlı montaj planlama	Ürüne ait montaj sıraları	Robotik montaj için en uygun montaj sıraları	Otomatik
Lazerini, Marcelloni	2000	Optimizasyon teknikleri tabanlı montaj planlama	Gelişigüzel türetilmiş montaj sıraları	En uygun montaj sıraları	Otomatik
Smith, Smith	2002	Optimizasyon teknikleri tabanlı montaj planlama	Ürüne ait montaj sıraları	En uygun veya en uyguna yakın montaj sıraları	Otomatik
Smith	2004	Optimizasyon teknikleri tabanlı montaj planlama	Ürüne ait montaj sıraları	En uygun veya en uyguna yakın montaj sıraları	Otomatik
De Fazio, Whitney	1987	Kural tabanlı montaj planlama	Ürünün 2 boyutlu BDT modeli	Tüm olası montaj sıraları	Kullanıcı etkileşimli
Steven, Lai	1993	Kural tabanlı montaj planlama	Montaj parametreleri	Ürün montaj analizi ve tasarım iyileştirmesi	Kullanıcı etkileşimli
Zha, Du, Qiu	2001	Kural tabanlı montaj planlama	Ürünün 3 boyutlu BDT modeli	Ürün analizi ve en uygun montaj sıraları	Kullanıcı etkileşimli
Dong,	2005	Kural tabanlı montaj planlama	Ürünün 3 boyutlu BDT modeli	Olası ve en uygun montaj sıraları	Kullanıcı etkileşimli
Seo, Sheen, Kim	2007	Kural tabanlı montaj planlama	Ürünün 3 boyutlu BDT modeli	Ürün montaj sırası	Kullanıcı etkileşimli

**Çizelge 3.** Montaj planlama yaklaşımlarının belirlenen kriterlere göre değerlendirilmesi (Evaluation of assembly planning approaches according to fixed criteria)

Değerlendirme Kriterleri →		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Yaklaşım	Yazar											
Grafik Tabanlı Montaj Planlama	De Mello, Sanderson	3	4	4	2	2	2	2	0	4	0	0
	Baldwin, vd.	2	4	4	4	3	3	4	0	1	0	0
	Arieh, Kramer	3	4	3	4	2	3	4	0	1	0	0
	Gu, Yan	4	4	4	2	1	2	0	3	2	3	0
	Ko, Lee	4	4	3	3	1	2	2	2	3	2	0
	Chakrabarty, Wolter	4	4	4	4	3	4	0	0	4	0	0
	Zorc, Noe	4	4	4	4	4	4	3	2	3	2	0
	Börklü, Sinanoğlu	3	0	4	3	2	2	3	0	0	0	0
Niu, Ding, Xiong	3	4	4	3	3	4	3	0	2	0	0	
Unsur Tabanlı Montaj Planlama	Werling, Wild	2	4	2	2	2	1	2	3	2	4	0
	Latombe vd.	4	3	4	1	2	1	3	3	2	3	3
	Eng, vd.	3	4	4	3	2	3	2	3	4	4	0
	Van Holland, Bronsvoort	4	4	4	1	4	1	4	4	2	3	0
	Chao, Chen	3	4	4	3	2	3	2	3	2	3	0
	Zha ve Du	3	4	3	4	2	3	4	4	3	4	0
Matris Tabanlı Montaj Planlama	Mascle	3	4	3	3	3	3	4	4	4	4	0
	Dini, Santochi	4	4	4	3	3	3	4	0	2	0	0
	Lee, Kumara	3	4	4	3	1	3	1	0	2	0	0
	Gottipolu, Ghosh	4	4	4	4	2	3	4	3	2	3	0
Optimizasyon Teknikleri Tabanlı Montaj Planlama	Dilipak, Özdemir	3	4	4	3	1	3	4	3	1	3	0
	Zhang, Ni, Lin, Lai	3	3	3	4	1	4	4	0	2	0	0
	Schmidt, Jackman	4	4	3	4	4	4	0	0	4	0	0
	Hong, Cho	4	4	3	4	4	4	0	0	4	0	0
Kural Tabanlı Montaj Planlama	Lazerini, Marcelloni	4	4	3	4	4	4	0	0	4	0	0
	Smith, Smith	4	4	3	4	4	4	0	0	4	0	0
	Smith	4	4	3	4	4	4	0	0	4	0	0
	De Fazio, Whitney	3	3	4	4	2	3	4	0	1	0	0
Unsur Tabanlı Montaj Planlama	Steven, Lai	3	3	2	2	1	2	2	0	2	0	0
	Zha, Du, Qiu	3	4	4	4	2	3	3	3	2	3	0
	Dong vd.	3	4	3	4	3	3	3	3	2	4	0
	Seo, Sheen, Kim	4	4	3	2	2	3	2	3	2	3	0

**Değerlendirme Kriterleri:** (A) Montaj planlama kolaylığı (B) Bilgisayarda uygulanabilme (C) Temsil kolaylığı (D) Karmaşık geometriye parçalara uygulanabilme (E) En uygun montaj sırasını destekleme (F) Parça sayısı çok olan ürünlere uygulanabilme (G) Tüm olası montaj sırasını destekleme (H) Parça geometrisini kullanabilme (I) Planlama zamanının minimizasyonu (J) Geometrik muhakeme kabiliyeti (K) Toleranslı parçalara uygulanabilme.

**Değerlendirme Puanı:** (0) Çok Kötü (1) Kötü (2) Orta (3) İyi (4) Çok İyi.

Grafik ve matris tabanlı çalışmalar yöntem olarak birbirine benzemekte ise de, BDT modelinden çıkarılan montaj verisi farklı formatta temsil edilmiştir. Matris formatı bilgisayar formatına uygun olduğundan dolayı bilgisayar programı ile algoritma kurmak, ve montaj planlama için matriste temsil edilen montaj bilgilerini elde etmek, grafik tabanlı yaklaşımlara göre daha kolaydır. Bu çalışmaların en büyük eksikliği, doğrudan ürünün BDT modelinden montaj planlama verisini çıkarmaması ve kullanıcının bu bilgileri grafik veya matris formatında sisteme girdi olarak girmesini beklemesidir. Bu da ürün bilgisinin kullanıcı tarafından yanlış çıkarılması ve sisteme yanlış girilmesi halinde türetilen montaj sıralarının yanlış olması anlamına gelmektedir. Fakat son yapılan çalışmalar ile BDT ortamında bu ilişkiler bilgisayar tarafından otomatik olarak çıkarılarak montaj planlama yapılmıştır. Fakat bu da, montaj planlama zamanını oldukça artmıştır. Çalışma zamanı ve hesapsal karmaşıklık nedeniyle bu yaklaşımlarda ürünü oluşturan parça sayısı sınırlı kalmıştır.

Unsur tabanlı yaklaşımlarda BDT ortamında tasar-

lanan ürünün montajlı parçalarındaki montaj unsurları ve unsurlar arası ilişkiler tespit edilerek bu ilişkiler bir montaj modelinde temsil edilmiştir. Yapılan bazı unsur tabanlı montaj planlama yaklaşımlarında montaj sıraları elde edilmesine rağmen bu yaklaşımlar daha çok montajı modelleme üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu yaklaşımlar BDT modellerinden veri çıkarımı konusunda diğer yaklaşımlara göre daha yeteneklidir. Genelde BDT modellerinin unsurları çıkarılarak bu unsurların birbirleri ile montaj edilebilirliği araştırılmaktadır. Bunun için de bazı çalışmalarda bir unsur tanıma algoritması montaj planlayıcıya entegre edilmiştir. Bunun yanı sıra unsur tabanlı, yarı otomatik ve esnek montaj planlama sistemleri yeterince yaygınlaşmamıştır. Çünkü BDT ortamında tasarlanan ürüne ait parçaların unsurlar vasıtasıyla BDT veritabanından montaj ilişkilerinin elde edilmesi zordur ve aynı geometri ve topolojideki unsurların farklı eşleşmeleri montaj planlayıcının yanılmasına neden olmaktadır.

GA'ların montaj planlamadaki en önemli avantajları çok sayıda ve karmaşık parçaları içeren ürünlerde

kolaylıkla uygulanabilmesi ve montaj sıra planlamada harcanan zamanı önemli derecede azaltmasıdır. Bu yönüyle GA'lar diğer montaj planlama yaklaşımlarına göre üstünlük sağlamaktadır. Fakat GA'ların geometrik muhakeme yapma ve tüm olası montaj planlarını çıkarma kabiliyeti yoktur. Tüm olası montaj sıralarının başka bir işlemde çıkarılıp, GA için bir girdi olarak hazırlanması gerekmektedir. GA'lar en uygun ve en uyguna yakın montaj sıraların türetilmesinde en etkin ve başarılı bir yöntemdir.

Kural tabanlı çalışmalara literatürde çok rastlanmakla birlikte bu yaklaşımlar oldukça sık kullanıcı etkileşimine gitmektedir. Bu da montaj sıra planlamada harcanan zamanı artırmaktadır. Montaja harcanan zaman montaj maliyet ve verimliliğini etkilediğinden kısa sürede montaj sıralarının belirlenmesi arzu edilmektedir. Ayrıca, uzman sistemde istenen soruların cevaplarını vermek için uzman bilgisi gerekmektedir. Bu cevaplarda herhangi bir yanlışlık olması durumunda sistemden elde edilen çıktılar (montaj analizi, montaj sıraları, tasarım iyileştirmesi, vb.) doğru olmayacaktır.

#### 4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu makalede, günümüze kadar geliştirilen montaj planlama yaklaşımları, kullanılan yöntemlere göre sınıflandırılarak açıklanmıştır. Aynı zamanda, yapılan çalışmaların bir değerlendirilmesi yapılarak montaj planlama alanında çalışma yapacak araştırmacılar için bir kaynak oluşturulması sağlanmıştır. Montaj planlamanın amacı, maksimum parça sayılı bir ürünün BDT modelinden gerekli montaj bilgilerini çıkararak montaj ile ilgili tüm değerlerin hiçbir sınırlama ve kullanıcı etkileşimi olmaksızın en az zamanda çıkarılması ve çıkarılan montaj parametrelerinin gerçek bir montaj sistemine uygulanmasıdır. Fakat yukarıda bahsedilen yaklaşımlar bu probleme kısmi çözümler bulsa da, henüz bu tanıma uyan komple bir çalışma yapılamamıştır. Gelecekte montaj planlama alanında çalışma yapacak olan araştırmacılar bahsedilen bu amaca uygun en uygun montaj planlama çalışmalarını gerçekleştirmek için gelişmiş bilgisayar sistemlerini kullanarak BDT modelini temel alan ve bilgisayar destekli imalata uyarlanabilen yeni otomatik montaj planlama sistemleri geliştirmelidir. Bu hedef gerçekleştirildiğinde montaj sistemlerinde maliyet, zaman ve iş gücü tasarrufu en uygun düzeyde sağlanabilecek, endüstride ürün maliyetine maksimum düzeyde etki eden montaj maliyeti azalması sağlanacaktır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Arie, D.B., Kramer, B., "Computer aided process planning for assembly: generation of assembly operations sequence", **International**

2. Baldwin, D.F., Abel, T.E., Lui, M.C.M., De Fazio, T.L., Whitney, D.E., "An Integrated Computer Aid for Generating and Evaluating Assembly Sequences for Mechanical Products", **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol. 7, No. 1, 78-94, 1991.
3. Chakrabarty, S., Wolter, J., "A Structure-Oriented Approach to Assembly Sequence Planning", **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol. 13, No. 1, 14-29, 1997.
4. Zorc, S., Noe, D., "Efficient Derivation of the Optimum Assembly Sequence from Product Description", **Cybernetics and Systems**, Vol. 29, 159-179, 1998.
5. Ko, H., Lee, K., "Automatic Assembling Procedure Generation from Mating Conditions", **Computer Aided Design**, Vol. 19, No. 1, 3-10, 1997.
6. Gu, P., Yan, X., "CAD-Directed Automatic Assembly Sequence Planning", **International Journal of Production Research**, Vol. 33, No. 11, 3069-3100, 1995.
7. De Mello, L.S., Sanderson, A.C., "And/Or Graph Representation of Assembly Plans", **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol. 6, No. 2, 188-199, 1990.
8. Niu, X., Ding, H., Xiong, Y., "A Hierarchical Approach to Generating Precedence Graphs for Assembly Planning", **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, Vol. 43, 1473-1486, 2003.
9. Börklü, H. R., Sinanoğlu, C., "Bilgisayar destekli montaj sırası planlamada yön graf temsili ve bir örnek çalışma", **Politeknik Dergisi**, Cilt 4, Sayı 1, Sayfa 1-11, 2001.
10. Chao, P.Y., Chen, T.T., "Analysis of Assembly Through Product Configuration", **Computers in Industry**, Vol. 44, 189-203, 2001.
11. Werling, G., Wild, H., "HOM-A Hybrid Object Model for Automatic Assembly Planning", **Journal of Intelligent Manufacturing**, Vol. 5, 153-163, 1994.
12. Eng, T.H., Ling, Z.K., Olson, W., McLean, C., "Feature-Based Assembly Modeling and Sequence Generation", **Computers & Industrial Engineering**, Vol. 36, 17-33, 1999.
13. Van Holland, W., Bronsvort, W.F., "Assembly Features in Modeling and Planning", **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, Vol. 16, 277-294, 2000.
14. Mascle, C., "Feature-Based Assembly Model for Integration in Computer Aided Assembly", **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, Vol. 18, 373-378, 2002.
15. Zha, X. F., Du, H., "A PDES/STEP-based model and system for concurrent integrated design and

- assembly planning”, **Computer Aided Design**, Vol. 34, pp. 1087-1110, 2002.
16. Latombe, J. C., Wilson, R. H., Cazals, F., “Assembly sequencing with toleranced parts”, **Computer Aided Design**, Vol. 29, No. 2, pp. 159-174, 1996.
  17. Lee, Y.Q., Kumara, S.R.T., “A Scheme for Mechanical Assembly Design and Assembly Line Layout Conceptualization”, **Computers & Industrial Engineering**, Vol. 27, No. 1-4, 261-264, 1994.
  18. Dini, G., Santochi, M., “Automated Sequencing and Subassembly Detection in Assembly Planning”, **Annals of the CIRP**, Vol. 41/1, 1-4, 1992.
  19. Dilipak, H., **Bilgisayar destekli montaj aşamalarının teşhisi ve montaj sınırlamalarına dayalı optimizasyonu**, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
  20. Dilipak, H., Özdemir, A., “Bilgisayar Destekli Montaj: Bölüm 1-Temas ve Hareket Fonksiyonlarının CAD Ortamında Otomatik Oluşturulması”, **Politeknik Dergisi**, Cilt: 3, Sayı: 2, 71-80, 2000.
  21. Dilipak, H., Özdemir, A., “Bilgisayar Destekli Montaj: Bölüm 2- Montaj Sıralarının Otomatik Belirlenmesi”, **Politeknik Dergisi**, Cilt: 4, Sayı: 1, 13-22, 2001.
  22. Zhang, Y.Z., Ni, J., Lin, Z.Q., Lai, X.M., “Automated Sequencing and Subassembly Detection in Automobile Body Assembly Planning”, **Journal of Materials Processing Technology**, Vol. 129, 490-494, 2002.
  23. Gottipolu, R. B., Ghosh, K., “Representation and selection of assembly sequences in a computer aided assembly process planning”, **International Journal of Production Research**, Vol. 35, No. 12, pp. 3447-3465, 1997.
  24. Schmidt, L.C., Jackman, J., “Evaluating Assembly Sequences for Automatic Assembly Systems”, **IIE Transactions**, Vol. 27, 23-31, 1995.
  25. Lazzerini B., Marcelloni, F., “A Genetic Algorithm for Generating Optimum Assembly Plans”, **Artificial Intelligence in Engineering**, Vol. 14, 319-329, 2000.
  26. Hong, D.S., Cho, H.S., “A Genetic-Algorithm-Based Approach to the Generation of Robotic Assembly Sequences”, **Control Engineering Practice**, Vol. 7, 151-159, 1999.
  27. Smith, G. C., Smith, S. S. F., “An enhanced genetic algorithm for automated assembly planning”, **Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, Vol. 18, pp. 355-364, 2002.
  28. Smith, S.S.F., “Using Multiple Genetic Operators to Reduce Premature Convergence in Genetic Assembly Planning”, **Computers in Industry**, Vol. 54, 35-49, 2004.
  29. De Fazio, T.L., Whitney, D.E., “Simplified Generation of All Mechanical Assembly Sequences”, **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol. RA-3, No. 6, 640-658, 1987.
  30. Steven, H., Lai, Y., “KBDA-A Knowledge Based Design System for Assembly”, **Computers & Industrial Engineering**, Vol. 25, No. 1-4, 585-588, 1993.
  31. Zha, X.F., Du, H.J., Qiu, J.H., “Knowledge Based Approach and System for Assembly Oriented Design, Part II: The System Implementation”, **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, Vol. 14, 239-254, 2001.
  32. Seo, Y., Sheen, D., Kim, T., “Block assembly planning in shipbuilding using case-based reasoning”, **Expert Systems with Applications**, Vol. 32, pp. 245-253, 2007.
  33. Dong, T., Tong, R., Zhang, L., Dong, J., “A collaborative approach to assembly sequence planning”, **Advanced Engineering Informatics**, Vol. 19, pp. 155-168, 2005.