

# Bir Uçak Montaj Alanında Karşılaşılan Problemler ve Yapılan İyileştirmeler\*

Necmi Kara<sup>1</sup>

## ÖZ

Bu çalışmada, hava aracı geliştirme ve yapım sürecinin temel adımlarından birisi olan montaj prosesi irdelenmiştir. Teknoloji yoğun bir alan olan havacılıkta her işlem gibi montaj da birçok sektöre göre çok daha karmaşıktır ve hataların maliyeti can kaybına varan sonuçlara yol açmaktadır. Bu nedenle her aşamada azami dikkat ve hassasiyet gerekmektedir. Bu çalışmada, belirli bir zaman aralığında değişik projeler için montaj hattında kayda geçirilen problemler listelenmiş, sonuçlar Pareto diyagramında analiz edilmiş, 5 grupta sınıflandırılmış ve bunları azaltmak için sistematik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar raporlanarak kurumsallaştırılmış; böylece gelecekte benzer projelerde, kişilerden bağımsız çözümlerin devreye girmesi temin edilmeye çalışılmıştır. Öte yandan montaj esnasında ortaya çıkan sorunları çözmek kadar önemli bir husus da bu çözümü mümkün olan en kısa zamanda ortaya koymaktır. O nedenle, atölyedeki problemlere belirli bir zaman içerisinde çözüm bulma gereksinimi imalat mühendisliği için bir hedef olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Montaj, teknoloji, analiz, iyileştirme

## Problems Faced on the Aircraft Assembly Area and Improvements

### ABSTRACT

This work investigates assembly process, which is one of the most important steps of air vehicle build. At aerospace sector, which uses high technology, like all processes, assembly is more complicated than that of many other sectors and mistakes may cause fatal results. For this reason, maximum attention and precision is required on each phase. In this study, problems, which are recorded on the assembly floor for different projects on a certain period are listed, results are analyzed with Pareto diagram, categorized at 5 class and systematic efforts have been paid to reduce these. The results have been arranged and kept to adapt to the other programs in the future, as applicable. On the other hand, applying solutions in the shortest time is as important as finding them. For this reason, resolving the problems on the assembly area within a certain time is defined as a target for manufacturing engineering department to provide faster solutions in the future.

**Keywords:** Assembly, technology, analysis, improvement

---

Geliş/Received : 28.05.2017  
Kabul/Accepted : 29.08.2017

\* 5-6 Mayıs 2017 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Ankara'da düzenlenen IX. Ulusal Uçak, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Kurultayı'nda sunulan bu bildiri, dergimiz için yazarınca makale olarak yeniden düzenlenmiştir.

<sup>1</sup> Uçak Mühendisi, TUSAŞ - nkara@tai.com.tr

## 1. GİRİŞ

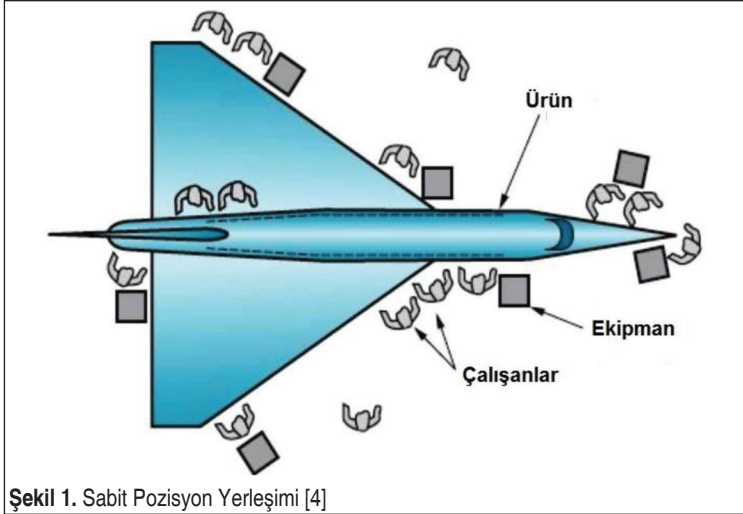
Havacılık sektörünü diğerlerinden ayıran bazı önemli farklar vardır. Büyük bütçeler, uç teknoloji ve yeteneklerle karmaşıklığın söz konusu olduğu bu sektördeki projelerde rekabetçi kalabilmek için zaman kayıplarını ve maliyeti düşük tutarak performans gereksinimlerini ve operasyonel gereksinimleri karşılayan ürünler ortaya çıkaracak mekanizma, süreç veya metodolojileri kullanmak önemlidir.

Gelişmiş, karmaşık teknoloji içeren montaj işlemi bu süreçte en fazla zaman tüketici ve maliyetli üretim aktivitelerinden birisidir. Bilgi yoğun adımlardan oluşan bu süreçte doğru bilgiyi, doğru zamanda ve doğru kişilere iletmek gerekmektedir [1]. Proses esnasında ortaya çıkan sorunların projenin bitiş tarihi, maliyeti ve performansı üzerinde major etkileri olabilmektedir.

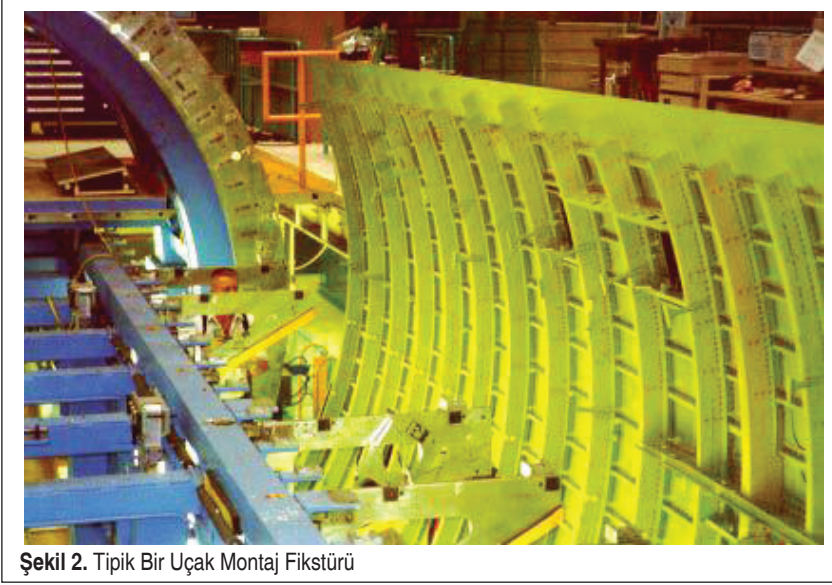
Araştırmalar, toplam imalat maliyetinin %10 ile %30 arasındaki kısmının montaj faaliyetlerinden kaynaklandığını göstermiştir [2]. O nedenle montaj hattı, sürekli iyileştirmenin en yoğun uygulandığı alanlardan birisi olup, bu iyileştirmelerin çoğu, detaylara dikkat edilerek yapılmaktadır [3].

## 2. UÇAK MONTAJ ALANINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLERİN ANALİZİ

Uçak komponentleri ve bu komponentlerin birleştirilmesi işlemi, Şekil 1’de görüldüğü gibi, sabit pozisyon yerleşimi (fixed position layout) mantığı ile gerçekleştirilmektedir [4]. Bu yerleşim şeklinde üzerinde çalışılan ürün, bütün montaj sürecinde belirli bir alanda sabit kalır, ekipman ve çalışanlar etrafında hareket ederler. Uçak üretiminde



Şekil 1. Sabit Pozisyon Yerleşimi [4]



Şekil 2. Tipik Bir Uçak Montaj Fikstürü

kullanılan yöntemlerin ve ekipmanın karmaşıklığı nedeniyle prosesi kontrol altında tutmakta zorluk yaşanmakta; kontrol edilebilir girdiler ve gürültü parametrelerindeki değişkenlikten dolayı ortaya çıkan sorunlar farklılık göstermektedir.

Şekil 2’de görüldüğü gibi, montajda fikstürler kullanılması, büyük ebatlı ve konturlu parçalar bulunması ve çok hassas toleransların söz konusu olması prosesi daha da problemlili duruma getirmektedir [5].

Montaj esnasında bilinmeyen sebeplerle ortaya çıkan hatalar, kontrol altında olmayan bir sürece işaret ettiği için kabul edilemez.

Bir uçak fabrikasındaki değişik projelerde yaptığımız çalışmada bu problemler genel başlıklar altında toplamaya çalışılmış; bu amaçla kayıtlı problemlerin içeriği incelenmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, projelerle ilgili ERP (Enterprise Resource Planning) sisteminde kayıt altına alınmış problemler ve talepler aşağıdaki başlıklar altında sınıflandırılmıştır:

- I. Yapısal Montaj Konuları:** Ürünün yapı elemanları konumlandırıldığında, bunlar arasında boşluk ve uyumsuzluklar oluşması (gap, alignment, mismatch problemleri), dolgu (shim), macun (sealant) gibi ağırlık artırıcı ilave işlemler gerekmesi
- II. Elektriksel Montaj Konuları:** Kablo demetlerini serme, konnektor takma (routing, hook up)

**III. Takım, fikstür ve kalıplarla ilgili konular**

**IV. Parça ve malzeme konuları**

**V. Proseslerle ilgili konular**

**VI. İzlenebilirlik konuları (traceability)**

**VII. İyileştirmeye yönelik istekler**

Daha sonra bu problemlere karşılık gelen cevaplar incelenerek problemlerin sebepleri sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmada ana başlıklar aşağıdaki gibi oluşmuştur:

**I. Tasarım kaynaklı bulgular**

**II. Montaj alanına malzeme, parça ve ekipman akışında süreksizlik yaşanması**

**III. Malzeme, parça ve ekipman hataları, uygun olmayan malzeme, parça veya komponentler**

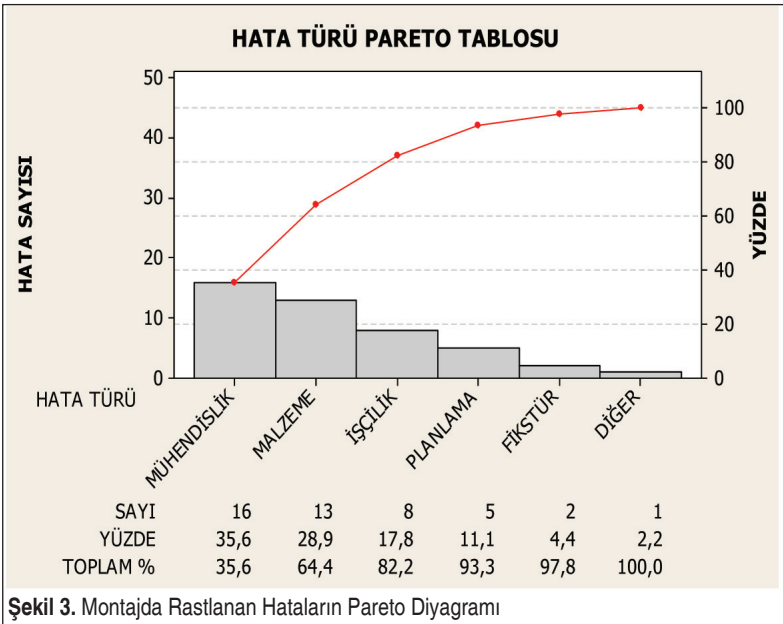
**IV. İşçilik hataları**

**V. Üretim dokümanı (iş talimatı) hataları**

**VI. Kalıp/fikstür problemleri, bunların amaca uygun biçimde kullanılamaması**

**VII. Diğerleri (Kayıt altına alınmamış bir çözümün yarattığı başka bir problem gibi)**

Bundan sonra da proje bazında problemlerin pareto diyagramı çıkarılmıştır. Şekil 3'te, bir proje için oluşan diyagram görülmektedir.





### 3. YAPILAN İYİLEŞTİRMELER

Pareto diyagramına göre, en sık yaşanan 5 grup problem incelemeye alınmış ve öncelikle ilk grubun üzerine yoğunlaşıp, problemlerin kaynağı araştırılmıştır. Bunların özel sebeplerden mi, yoksa genel sebeplerden kaynaklanan tekrarlı bir problem mi olduğu incelenmiş, tekrarlayanlar için kök sebepleri mercek altına alınmıştır.

Problemleri gidermek veya indirgemek için yapılan çalışmalarda göze çarpan ilk husus, bir altmontaja veya komponente uygulanan iyileştirmenin, o yapının ait olduğu daha büyük üst montajdan bağımsız düşünülmeceği oldu. Aynı şekilde, malzeme, proses, fiktür gibi montajı etkileyen unsurlardan birisindeki değişikliğin, diğerlerine hassas biçimde yansıdığı görüldü. Ayrıca, bir yapıda ortaya çıkan problemin kök nedeninden emin olabilmek için bir sonraki üründeki durumu gözlemlemek gerekebilmektedir. Bu gibi etkileşimler dikkate alınarak aşağıdaki iyileştirmeler yapılmıştır.

Havacılığın yapısından kaynaklanan bir uygulama olarak tasarım dokümanları kullanıma hazır hale getirilmeden önce değişik disiplinlerin görüşüne sunulmakta ve uygunluğu üzerinde mutabık kalındıktan sonra geçerli kılınmaktadır. Bu makalede anlatılan çalışmada tasarım kaynaklı montaj problemlerinin miktarının fazla olduğu tespit edildiği için, tasarım dokümanlarının onay döngüsünde montaj açısından daha hassas ve öngörülü değerlendirilmesi sağlanmıştır. Özellikle tolerans, parça listesi, parça numarası, resim ile parça listesi uyumu, parçaların yerleşimi için gerekli ölçülerin, somut parçalardan alınması konuları incelenmiştir. Bunun yanında, 'Üretim İçin Tasarım' mantığı yerleştirilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda aşağıdaki yaklaşımların kullanılmasına çalışılmıştır:

- I. Tasarımı basit tutmak
- II. Yanlış montaja imkan vermeyen parçalar tasarlamak
- III. Montajdaki parça sayısını azaltmak (dolayısıyla ağırlığı azaltmak)
- IV. Kolay hizalanan ve yerleştirilen parçalar tasarlamak
- V. Parça simetrisini maksimize etmek veya simetrik parçalar yapmak
- VI. Mümkün olduğunca standart parçalar kullanmak

Bu yaklaşımların benimsenmesi sonucunda özellikle özgün projelerde montaj alanında karşılaşılan tasarım kaynaklı problemlerde belirgin bir azalma olurken, montaj prosesinin hızlandığı gözlemlenmiştir.

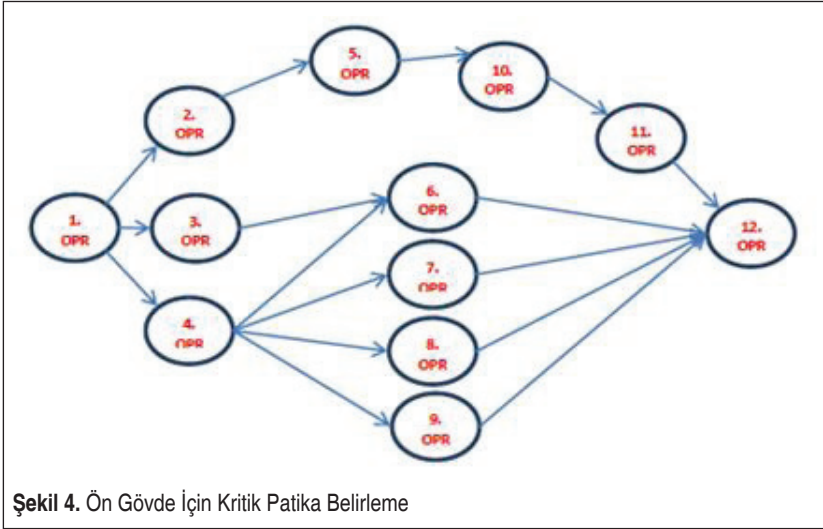
Son yıllarda uçak üretim projelerinde iki boyutlu teknik resim kullanımından 3 boyutlu CAD modellerin kullanımına geçiş hızlanmıştır [6]. Yaptığımız çalışmada, bu eğilimin üretim dokümanlarının görselleştirilmesi şeklinde uygulanarak, işin daha anlaşılır, net bir biçimde tarif edilmesi yoluna gidilmiştir. Bu amaçla üretim dokümanlarındaki açıklayıcı notların artırılmasının fayda sağlayacağı değerlendirilmiş

ve uygulanmıştır. Bu değişiklikler, montajı yapan teknisyenlerle kontrol eden kalite kontrolcülerin işi daha kolay anlamalarını sağlayarak çalışma hızında ve ürün kalitesinde artış sağlamıştır.

Birbirinden bağımsız birçok sınırlayıcı faktör göz önünde bulundurularak işlem sıralamalarının optimize edilmesi, öncelik diyagramları (Precedence Chart) oluşturulması sağlanmıştır [7]. Bu sayede hem iç lojistiğin etkinliği artırılarak önceki aşamalarda imal edilen veya satın alınan parçaların montaj alanına uygun formda ve uygun zamanda akışı iyileştirilmiş hem de nihai montaj alanındaki iş sıralaması kritik patikalara göre oluşturulmuştur. Parça veya malzemelerin montaj alanına getirilmesindeki iyileştirme, bunlarla ilgili teknik problemlerin de zamanında tespit edilmesinde kolaylık sağlamıştır. Bütün bu iyileştirmeler proje takvimi üzerinde olumlu etki yaratmıştır.

Şekil 4'te, bir komponent için oluşturulmuş işlem sıralamasında her bir patika için o patikadaki operasyonların tamamlanma süreleri toplanmış ve kritik olarak belirlenen 1. patikadaki bir gecikme diğer patikalardaki hızlanmayı etkisiz duruma getireceği için buradaki operasyonların öngörülen zamanda tamamlanması ve kısaltılması için gerekli teknik resim, takım, parça, ekipman akışı ve işgücü ihtiyacı planlanmıştır. Bu sayede kaynakların verimli kullanılması ve komponentin toplam üretim süresinin mümkün olduğu ölçüde kısa tutulması sağlanmıştır

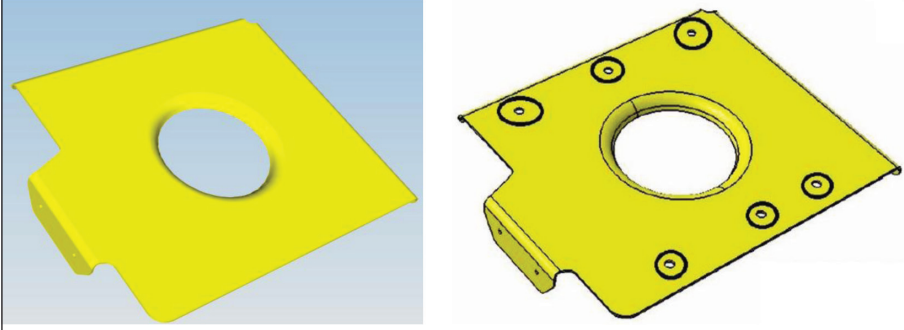
Zaman ve maliyeti artırmadan montaj ve test süreçlerindeki esneklikliği artırmak, iyileştirmenin önemli ayaklarından birisini teşkil etti. Normal koşullarda montajda kullanılan detay parçalar veya alt montajlar, mühendislik gereksinimlerine göre imal edilmektedir. Ancak montaj esnasında görülen durumdan yola çıkarak, bunların tek-



Şekil 4. Ön Gövde İçin Kritik Patika Belirleme

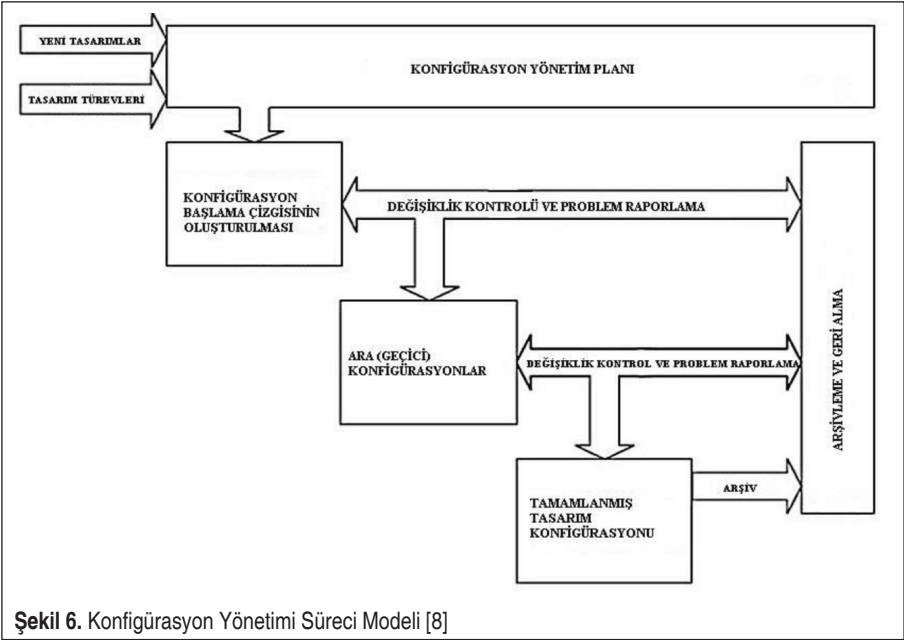


nik resmindeki net şekliinden farklı imal edilerek montaj alanına gelmesi (eksik/fazla delik parçanın yerine alıştırılmasına imkân veren kenar fazlalıkları, boya) ve mühendislik gereksinimlere uyumluluğu burada alması sağlanmıştır (Şekil 5).



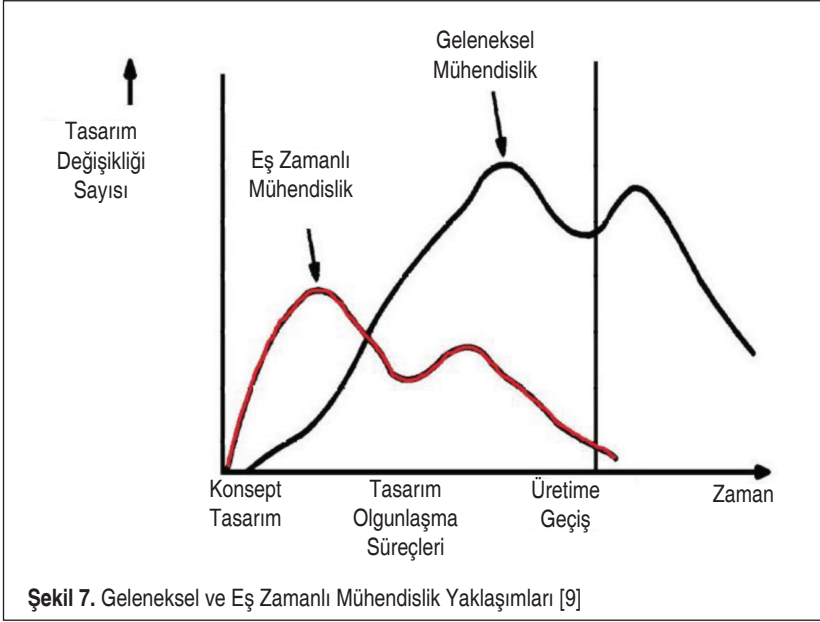
**Şekil 5.** Mühendislik Gereksinimlerine Göre Montajda Delinmesi Gereken Deliklerin Detay Parça Üzerine Taşınmasının Sonucu Olarak Montaj Prosesinin Kısalması

Projelerin teknik döngüsü, projenin gereksinimlerine uygun olarak mühendislik çizimlerinin oluşturulduğu ve üretim aktivitelerinin yönetildiği yazılım ortamlarında gerçekleşir. Bu döngüde, uçak projelerinde kaçınılmaz olan mühendislik değişikliklerinin ürüne yansıtılması da hava aracı montajında önemli bir aktivitedir. Şekil 6'da görüldü-



**Şekil 6.** Konfigürasyon Yönetimi Süreci Modeli [8]





ğü gibi, başlangıçta oluşturulan konfigürasyon tabanı sürekli değişmektedir [8].

Bu değişkenliğin olumsuz etkisinin montaj alanına yansımalarını indirmek ve potansiyel tasarım değişikliklerini azaltmak için eş zamanlı mühendislik yaklaşımı ile tasarım mühendislerinin yanında imalat mühendisleri ve malzeme/proses mühendislerinin de tasarım aktivitelerine erken aşamada dahil olması sağlanmıştır (Şekil 7). Çünkü bu aşamada değişikliklerin yönetilmesi kolaydır. Montaj aşamasında ise olumsuz etkisi fazladır; bazen de uygulanması imkansızdır [9]. O nedenle, bu değişikliklerin sayısının azaltılması için gerekli önlemler alınırken, ürüne hızlı ve doğru olarak yansıtılması da sağlanmıştır. Bunun sonucunda mühendislik değişikliklerinin proje takvimine, maliyetine ve uçağın üretim kalitesine olan olumsuz etkileri azaltılmıştır.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, uçak montajı tanımlanmış, kompleks geometrilere sahip büyük parçalar içeren montaj esnasında karşılaşılan problemler sınıflandırılmış, bunlara özgün çözümler geliştirmek için yapılanlar anlatılmıştır. Problemlerin istatistiğinin çıkarılması ve sınıflandırılmasının, indirgenmesine yardımcı olduğu görülmüştür. Ayrıca, problemlerin ortaya çıkışından sonuçlandırılıp raporlanmasına değin izlenen süreçler konu edilmiştir. Çalışma sırasında uçak montajını etkileyen faktörlerin bir birilerine olan etkilerinin, ortaya çıkan problemleri karmaşıklaştırdığı; bu nedenle bazen





bir üründe ortaya çıkan durumu analiz edip iyileştirici bir işlem yapmadan önce bir sonraki ürünlerdeki durumu da görmek gerektiği anlaşılmıştır. Bazı sorunların giderilmesinin süreçte temel değişiklikler yapılması ile mümkün oluşu, bunun ise önemli miktarda zaman ve maliyet gerektirmesi yanında, sadece bir projeyi kapsamı nedeni ile uygun bulunmaması, bu gibi problemleri ilgili dokümantasyonlar çerçevesinde kabul edilebilir seviyelere indirgemekle yetinilmesini zorunlu kıldığından söz edilmiştir.

## KAYNAKÇA

1. **Kahn, J.** 2015. "Transforming Manufacturing Through the Connected Enterprise," *Manufacturing Engineering*, September 2015, SME, p. 21.
2. **Yasin, A., Puteh, N., Daud, R.** 2010. "Product Assembly Sequence Optimization Based on Genetic Algorithm," *International Journal on Computer Science and Engineering*, vol. 2 (9), p. 3065-3070.
3. **Sawyer, J. D.** 2015. "Lining up for Continuous Improvement," *Manufacturing Engineering*, September 2015, SME, p. 77.
4. **Groover, M. P.** 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*, John Wiley & Sons, Inc, USA, p. 18.
5. Macintosh HD: Final Book 16-19: 19. Case Study of Aircraft Wing Manufacture, [http://global.oup.com/us/companion.websites/fdscontent/uscompanion/us/static/companion.websites/9780195157826/Chapter\\_19.pdf](http://global.oup.com/us/companion.websites/fdscontent/uscompanion/us/static/companion.websites/9780195157826/Chapter_19.pdf), son erişim tarihi:
6. **Mandelbaum, J., Patterson, M. C., Hurt, P., Shea-Keenan, M.** 2012. *Aerospace and Defense Manufacturing Competency Model—Improving Communication among Employers, Training Providers, and the Workforce*, [http://www.sme.org/uploadedFiles/About\\_SME/Industry\\_Focus\\_Areas/WFD/NSP4927%20Aerospace%20Model%20Final\\_v2\\_TP.PDF](http://www.sme.org/uploadedFiles/About_SME/Industry_Focus_Areas/WFD/NSP4927%20Aerospace%20Model%20Final_v2_TP.PDF), son erişimtarihi:03.04.2017, p. 47.
7. **Nallakumarasamy, G., Srinivasan, P. S. S., Venkatesh Raja, K., Malayalamurthi, R.** 2011. "Optimization of Operation Sequencing in CAPP Using Superhybrid Genetic Algorithms-Simulated Annealing Technique," *Mechanical Engineering*, vol. 2011.
8. **SAE.** 2010. *Aerospace Recommended Practice ARP4754A, Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems*, <https://www.sae.org/standards/content/arp4754a/>, son erişim tarihi: 12.03.2017, p. 73.
9. Office of the Under Secretary of Defense (USA): 1998. *DOD Integrated Product and Process Development Handbook*, <https://www.acq.osd.mil/se/docs/DoD-IPPD-Handbook-Aug98.pdf>, son erişim tarihi: 22.01.2017, p. 2.