

## BİR UÇAK MONTAJ ALANINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER VE YAPILAN İYİLEŞTİRMELER

Necmi KARA

TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.  
Fethiye Mahallesi, Havacılık Bulvarı No:17  
06980 Kazan-ANKARA / TÜRKİYE  
Tel: 312 811 18 00 E-Posta: nkara@tai.com.tr

### ÖZET

*Bu çalışmada, hava aracı 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, 2013-2016 yılları arasında montaj hattında kayda geçirilen problemler listelenmiş, sonuçlar Minitab programı kullanılarak 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 çözüm bulma sürelerinin kısaltılması, sorumlu birimin bir metriği olarak belirlenmiş ve 2 günlük hedef konmuş, zaman içerisinde ortalama 1,5 güne kadar inilmiştir.*

**Anahtar Sözcükler:** Montaj, Teknoloji, Analiz

### 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 during 2013-2016 years are listed, results are analyzed by using Minitab program, categorized at 5 class and systematic efforts have been paid to reduce these. Work has been reported to be used for similar projects in the future independent from individuals. On the other hand, applying solutions in the shortest time is as important as finding them. For this reason, time for finding solution to the problems on the assembly area is defined as a performance metric of the responsible function and target is set as 2 days, reducing to 1.5 days average within time.*

**Key words:** Assembly, Technology, Analysis

## 1. GİRİŞ

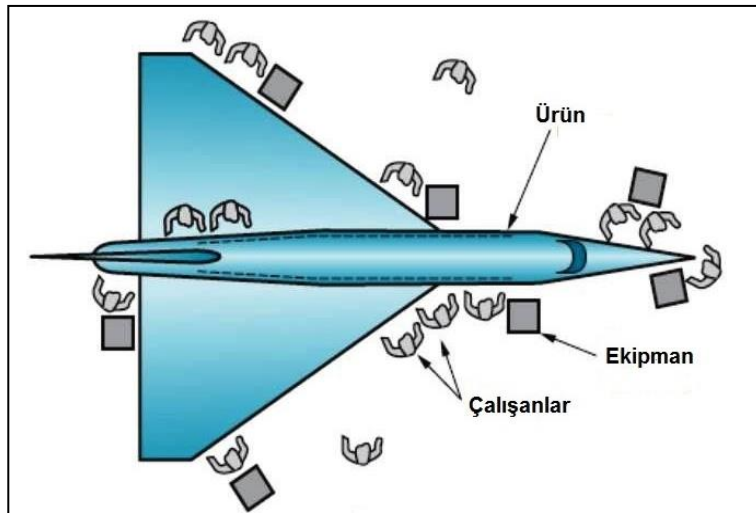
Havacılık sektörünü diğerlerinden ayıran bazı önemli farklar vardır. Büyük bütçeler, uç teknoloji ve yeteneklerle karmaşıklığın söz konusu olduğu bu sektördeki projelerde rekabetçi kalabilmek için zaman kayıplarını ve maliyeti düşük tutarak performans gereksinimlerini ve operasyonel gereksinimleri karşılayan 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).

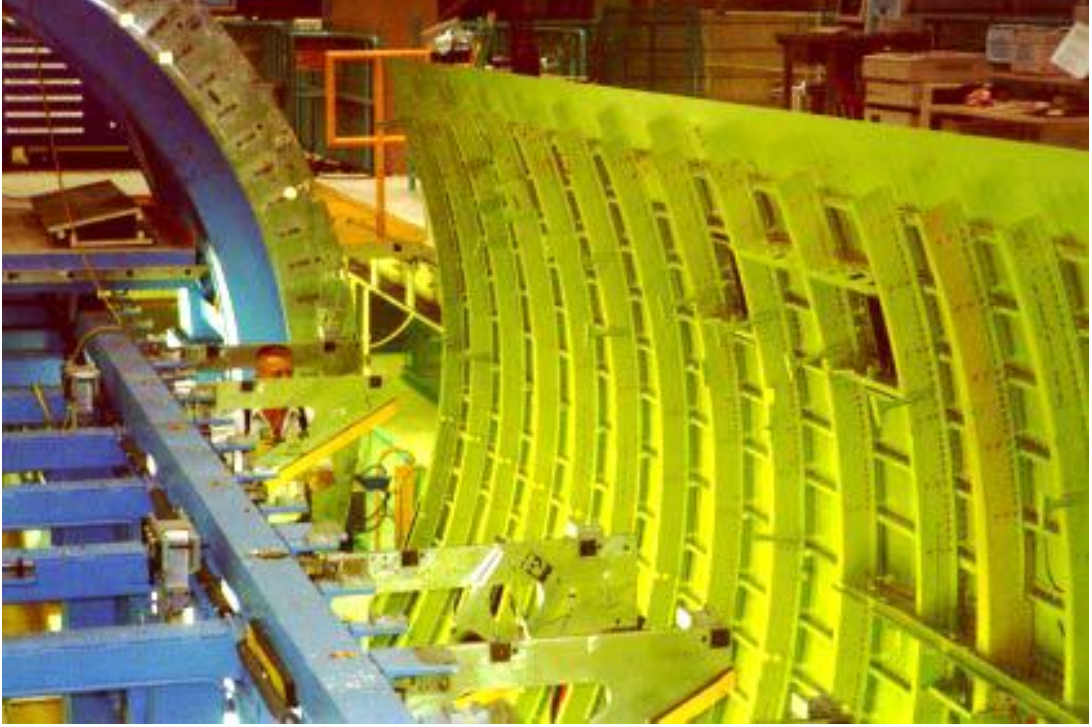
## 2. UÇAK MONTAJ ALANINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLERİN ANALİZİ

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. Her süreçte mevcut olan değişkenlik, ekipman ve ürünün karmaşıklığı nedeniyle uçak montajında artmakta; kontrol edilebilir girdiler ve gürültü parametrelerindeki değişkenlikten dolayı ortaya çıkan sorunlar farklılık göstermektedir.



Şekil 1: Sabit pozisyon yerleşimi

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).



*Şekil 2: Tipik bir uçak montaj fikstürü*

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 problemleri genel başlıklar altında toplamaya çalıştık. Bu amaçla 100 adet kayıtlı problemin içeriğini inceledik.

Çalışmanın ilk aşamasında, projelerle ilgili ERP sisteminde kayıt altına alınmış problemler aşağıdaki başlıklar altında sınıflandırıldı:

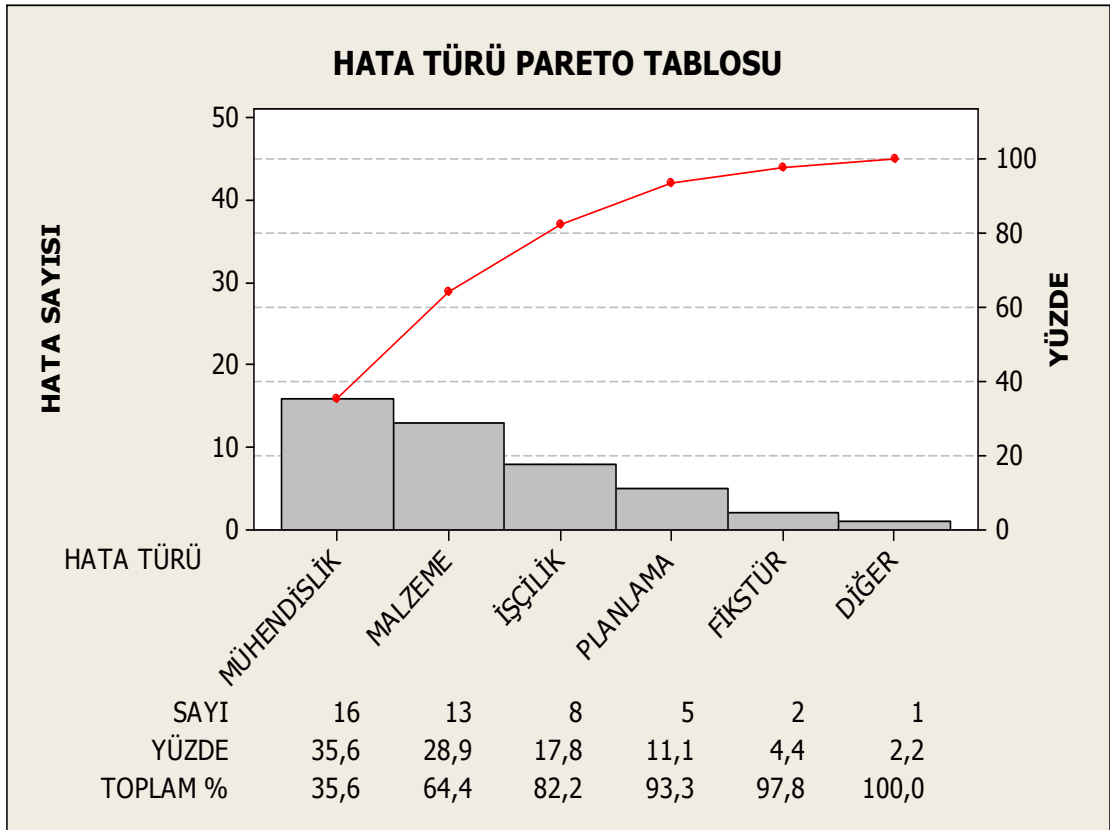
1. Ürünün yapı elemanlarını konumladığımızda, bunlar arasında boşluk ve uyumsuzluklar oluşması (gap, alignment, mismatch problemleri), dolgu (shim), macun (sealant) gibi ağırlık artırıcı ilave işlemler gerekmesi.
2. Kablolama problemleri (routing, hook up).
3. Takım ve kalıpların amaca uygun biçimde kullanılamaması.
4. Montaj alanına uygun olmayan malzeme, parça veya komponent gelmesi, malzeme akışında süreksizlik yaşanması.

IX. ULUSAL UÇAK, HAVACILIK VE UZAY MÜHENDİSLİĞİ KURULTAYI  
BİLDİRİLER KİTABI

5. Montaj alanının kabiliyeti dışında prosesler olması.
6. İzlenebilirlik (traceability) kaydında kayıplar olması, kayıt zincirini tamamlamak için geri söküm dahil, ilave işlemler gerekmesi.
7. Proseslerle ilgili yeterince açık olmayan tarifler

Daha sonra bu problemlere karşılık gelen cevaplar incelenerek problemlerin sebepleri sınıflandırıldı:

1. Mühendislik veya uygun olmayan tasarım kaynaklı bulgular (parça boyutları, birleştirilememe)
2. İşçilik hataları (uygunsuz tork)
3. Üretim dokümanı (iş talimatı) hataları (yazım hatası, iş sıralaması, yanlış iş merkezi seçilmesi gibi),
4. Kalıp/fikstür problemleri
5. Diğerleri (Kayıt altına alınmamış bir çözümün yarattığı başka bir problem)



Şekil 3: Montajda Rastlanan Hataların Pareto Diyagramı

### 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.

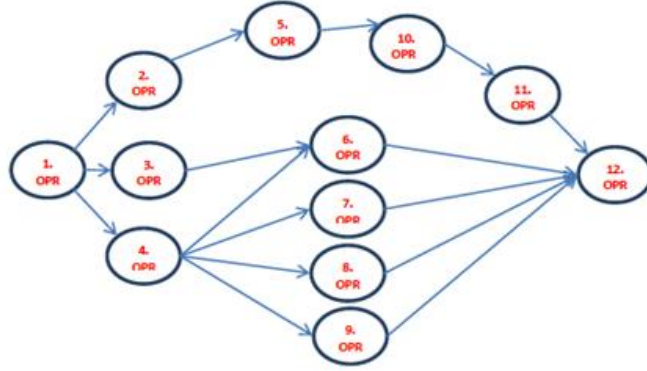
Problemleri gidermek veya indirgemek için yapılan çalışmalarda göze çarpan ilk husus, bir altmontaja veya komponente uygulanan iyileştirmenin, o yapının ait olduğu daha büyük üst montajdan bağımsız düşünülmemesi oldu. Aynı şekilde, malzeme, proses, fiyatsız gibi montajı etkileyen unsurlardan birisindeki 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 bildiriye 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.

Son yıllarda uçak üretim projelerinde teknik resim kullanımından dijital ortama geçiş hızlanmıştır (6). Yaptığımız çalışmada bu eğilimin üretim dokümanlarının görselleştirilmesi şeklinde uygulanarak, işin montaj ve kalite kontrol çalışanlarına daha anlaşılır, net bir biçimde tarif edilmesi yoluna gidilmiştir. Bu amaçla üretim dokümanlarındaki açıklayıcı notların artırılması ve Türkçe olarak eklenmesinin de fayda sağlayacağı değerlendirilmiş ve uygulanmıştır.

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.

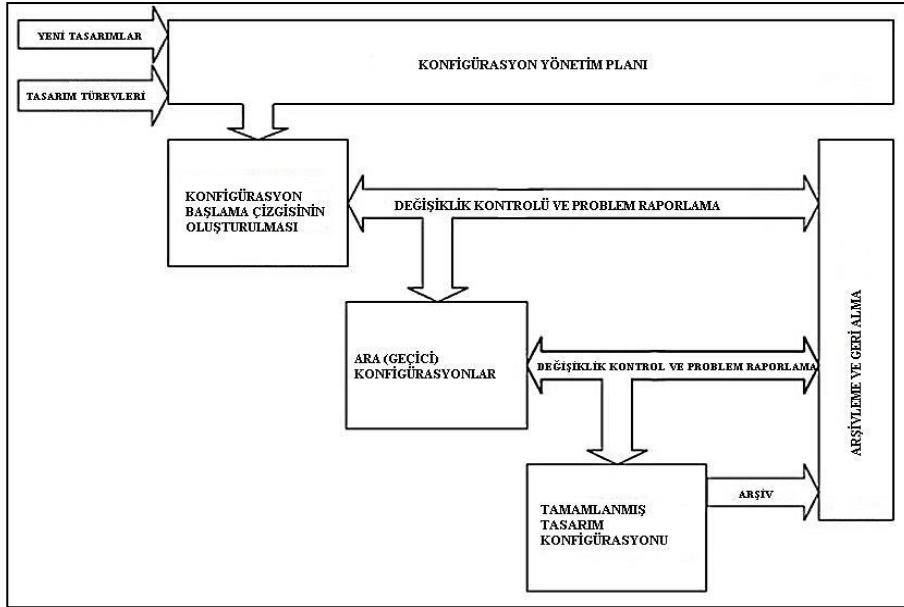
Şekil 4'de bir komponent için oluşturulmuş işlem sıralamasında her bir patika için o patikadaki operasyonların tamamlanma süreleri toplanmış ve kritik olarak belirlenen 1.patikadaki bir gecikme diğer patikalardaki hızlanmayı etkisiz duruma getireceği için buradaki operasyonların öngörülen zamanda tamamlanması ve kısaltılması için parça akışı planlanmıştır.



Şekil 4: Ön Gövde İçin Kritik Patika Belirleme

Zaman ve maliyeti artırmadan montaj ve test süreçlerindeki esnekliğini 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 teknik resmindeki net şekilden farklı imal edilerek montaj alanına gelmesi (eksik/fazla delik, parçanın yerine alıştırılmasına imkân veren kenar fazlalıkları, boya) ve mühendislik gereksinimlere uyumluluğu burada alması sağlanmıştır.

Projelerin teknik döngüsü, projenin gereksinimlerine uygun olarak mühendislik çizimlerinin oluşturulduğu yazılım ortamı, ERP, MES'te gerçekleşir. Bu döngüde mühendislik değişikliklerinin ürüne yansıtılması da hava aracı montajında önemli bir aktivitedir. Şekil 5'te görüldüğü gibi, başlangıçta oluşturulan konfigürasyon tabanı sürekli değişmektedir (8).



Şekil 5: Konfigürasyon yönetimi süreci modeli

#### 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. Ayrıca benchmarking yoluyla başka işletmelerden transfer edilen yaklaşımlara da değinilmiş ve problemlerin ortaya çıkışından sonuçlandırılıp raporlanmasına değin izlenen süreçler konu edilmiştir. Çalışma sırasında uçak montajını etkileyen faktörlerin bir birilerine olan etkilerinin, ortaya çıkan problemleri karmaşıktırdığı; bu nedenle bazen bir üründe ortaya çıkan durumu analiz edip iyileştirici bir işlem yapmadan önce bir sonraki üründeki 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 kapsamaması nedeni ile uygun bulunmaması, bu gibi problemleri ilgili dokümantasyonlar çerçevesinde kabul edilebilir seviyelere indirgemekle yetinilmesini zorunlu kıldığından söz edilmiştir.

#### 5. KAYNAKÇA

- [1] Manufacturing Engineering, September 2015, SME, Page 21.
- [2] Puteh, Product Assembly Sequence Optimization Based on Genetic Algorithm, International Journal on Computer Science and Engineering, Vol. 02, No. 09, Pages 3065-3070, 2010.
- [3] Manufacturing Engineering, September 2015, SME, Page 77.
- [4] Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing, 2010, Page 18
- [5] Case Study of Aircraft Wing Manufacture Final Book 16-19: Chapter 19, 2003.
- [6] Tellier, Aerospace and Defence Manufacturing 2015, SME, Page 47.
- [7] Nallakumarasamy, Srinivasan, Venkate-shRaja, Malayalamurthi, Optimization of Operation Sequencing in CAPP Using Superhybrid Genetic Algorithms-Simulated Annealing Technique 2011.
- [8] SAE. Aerospace Recommended Practice ARP4754A, Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems, Page 73, 2010.

## ÖZGEÇMİŞ:

### NECMİ KARA

1965 yılında Gümüşhane’de doğdu. İlkokulu burada, ortaokul ve liseyi Ankara’da bitirdikten sonra 1982 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Uçak Mühendisliği bölümünü 1986 yılında bitirdi ve 1.HİBM’de atölye mühendisi olarak çalışmaya başladı. Yedek subaylığını da burada tamamladıktan sonra 1989 yılında Kırklareli Cam Sanayi’nde bakım mühendisi olarak çalışmaya başladı. Bahçeşehir Üniversitesinde işletme yüksek lisansı yaptı. 1991 yılında çalışmaya başladığı TUSAŞ’ta halen Montaj İmalat Mühendisliği Şefi olarak görev yapmaktadır. Bu süre içerisinde 1 yıl Boeing’de eğitim aldı. İngilizce ve Almanca bilmektedir. Evli ve üç çocuk babasıdır.