

UÇAK İMALATINDA İMALAT VE MONTAJ İÇİN TASARIM YAKLAŞIMI

Necmi KARA*
TUSAŞ/Ankara

ÖZET

Herhangi bir imalat prosesinde ilk adım tasarım olup, ürünün nihai maliyetini etkileyen önemli kararların bir çoğu bu aşamada alınır. Etkili bir tasarım için proses ile tasarımın nasıl etkileştiği bilinerek amaca uygun tasarım yapılması gerekmekte olup, bunun önemli ayaklarından birisi imalat ve montaj için tasarım yaklaşımıdır. Bu çalışmada imalat ve montaj için tasarımın tanımı yapılmış, genel olarak esasları araştırılmış, TAI'deki özgün projelerde etkili biçimde kullanımı için çalışmalar yapıldığına ve bunun bir çok fayda sağladığına değinilmiştir. Ülkemizde havacılık alanında 'tasarım için imalat ve montaj' hedefinden 'imalat ve montaj için tasarım' yaklaşımına ulaşıldığı belirtilmiştir.

*Uçak Mühendisi, E-Posta: nkara@tai.com.tr

GİRİŞ

Pazarda kalabilmek ve gelişebilmek için işletmelerin yeni ürünlerini düşük maliyetli ve kaliteli olarak geliştirip, hızlı ve sürekli biçimde halka sunmaları gerekmektedir [Xie, 2006]. İşletmeler artık aşırı tasarım veya uzun süreli ürün geliştirme döngüsüne tahammül edememektedir. Ürünleri verimli biçimde üretmek için tasarım mühendisi ile imalat mühendisinin birlikte çalışarak optimum tasarım ve imalat çözümlerini bulması beklenmektedir [Mazumdar, 2002]. Bunun için kullanılan yaklaşımlardan birisi, eşzamanlı mühendislik ve onun yöntemlerinden olan imalat ve montaj için tasarım (DFMA) tekniğidir [Boothroyd, 2002].

Araştırmalar göstermektedir ki, maliyet düşürücü uygulamalar için en uygun zaman dilimi, ürün geliştirme sürecinin erken aşamasıdır [Watts, 2005]. Çünkü bir çok imalat prosesinde en önemli kararların ilk adımı bu aşamada atılır [Prakash, 2014]. Bir ürünün yüksek imalat maliyetinde en büyük pay, uygun olmayan tasarım çözümlerindedir [Annamalai, 2013].

Ülkemizde son yıllarda özgün hava araçları geliştirme projelerindeki artış ve havacılık sektöründeki ürün geliştirme süreçlerinin karmaşıklığı göz önünde bulundurulursa, bu konunun önemi daha iyi anlaşılır.

Projelerimizde eşzamanlı mühendislikle birlikte uyguladığımız imalat/montaj için tasarım yaklaşımının tasarımdan imalata geçiş süresini, mühendislik değişikliklerini, yeniden çalışma ve tamiratları azalttığı, projelerin takvimine, ürünlerin maliyetlerine ve kalitesine olumlu etki yaptığı tespit edilmiştir.

İmalat ve montaj için tasarım yaklaşımının uygulanmasında bazı zorluklar vardır. Bunlardan birisi, tasarım süresini uzatması konusundaki çekingelerdir [Boothroyd, 2002]. Uygulamalarımızda tasarım mühendisleri başta olmak üzere bir çok birimin benimsemesi ve uygulamaya dahil olması suretiyle bu zorlukları aşmaya çalıştık.

İMALAT/MONTAJ İÇİN TASARIM NEDİR

İmalat ve montaj için tasarım (DFMA), tasarımı basitleştirerek bir ürünün imalat ve montaj maliyetlerini azaltmak amacıyla uygulanan sistematik bir analiz prosesidir [Mohan, 1994]. Eşzamanlı mühendislik, bakım yapılabilirlik, erişilebilirlik gibi tekniklerle de yakın ilişkisi bulunan bu yöntem bir üründeki parça sayısını minimumda tutmaya çalışırken, ürünün güvenilirliğini ve kalitesini artırır [Boothroyd, 2002]. Kökleri 1977 yılında Massachusetts Üniversitesi'nde başlatılan bir çalışmaya dayanan bu kavram zamanla gelişerek ürün tasarımın, fonksiyonellik ve kalite gibi özelliklerden taviz vermeden imalat ve montaj açısından optimizasyonu felsefesine dönüşmüştür [Meeker, 1996]. Tasarım süreçlerinin kritik elemanlarından birisi imalat ve montaj için tasarımdır [Herrmann, 2004]. DFMA uygulanan projelerde parça sayısında ve üretim süresinde yaklaşık %50, malzeme ve işçilik maliyetinde ise yaklaşık %40 azalma olduğu gözlemlenirken, ürünün güvenilirliğinde yaklaşık %60 iyileşme olduğu belirlenmiştir [Ashley, 1995].

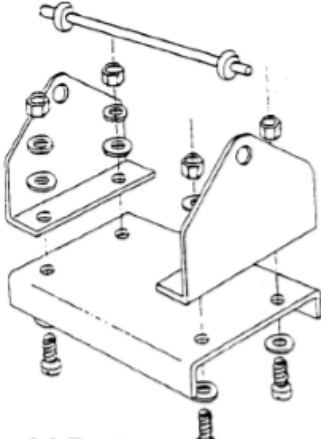
İMALAT/MONTAJ İÇİN TASARIMIN ESASLARI

İmalat ve montaj için tasarım yaklaşımı esas olarak ürün ve süreç tasarımını bir arada geliştirme konusunda bir çerçeve sağlamaktadır [Doğan, 2002]. İki aşamalı bir analiz gerektirmektedir: Detay parça tasarımının analizi ve montaj analizi (Naiju, 2016).

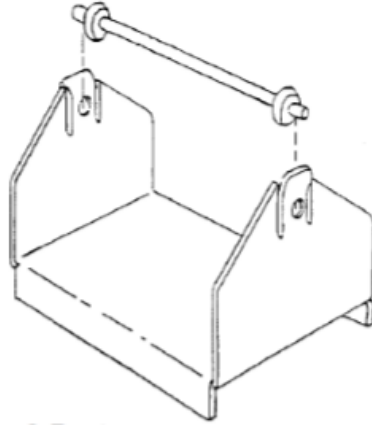
Detay ve Montaj imalat mühendisleri tasarım projelerinde sorumluluğu dâhilindeki parçaların tasarım aşamasında maliyet ve imal edilebilirlik açılarından incelenerek Üretime Uygun Tasarım (Design for Manufacturing /Assembly, DFM/A) anlayışına uygun tasarım yapılmasında rol oynamaktadır. Düşük imalat maliyetleri sağlayan bazı kurallara vardır. Bunlardan birisi, tasarımı uygun toleranslarda ve basit tutmaktır. Tasarım çözümlerinde üretim miktarını düşünmek, kolay hizalanan ve yerleştirilen parçalar tasarlamak da önemli DFMA bileşenleridir.

DFMA Uygulama esaslarından bazıları şunlardır[Mani, 2015]:

- Parça sayısını azaltmak(Şekil 1),
- Modüler tasarımı teşvik etmek,
- Yukarıdan aşağıya montaj için tasarım yapmak,
- Ayrı bağlayıcıları minimuma indirmek,
- Standart parçaları tanımlamak,
- Parça işlemlerini kolaylaştırmak(Şekil 2),
- Montajdaki yeniden alıştırma işlemini minimize etmek,
- Kabloları minimize etmek,
- Montajdan sonraki nihai ayarları minimize etmek,
- Kendiliğinden bağlanan parçalar kullanmak,
- Kendiliğinden yerleşen parçalar kullanmak,
- Proses/parça varyasyonu temin etmek.



24 Parça, Çok Proses



2 Parça, 2 Proses

Şekil 1: Rollbar yeniden tasarımı

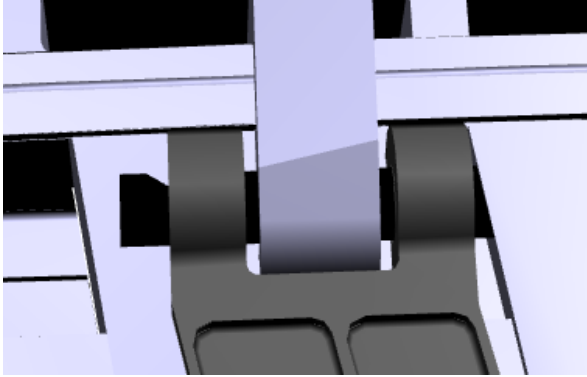


Şekil 2: (a) Kolay işlem uygulayabilme (b) Kolay montaj yapabilme

ÖRNEK UYGULAMALAR

Bir uçak geliştirme projesinin kavramsal tasarım fazından itibaren başlayan ve üretim mühendisleri ile tasarım mühendislerinin tartışarak alternatif çözümler geliştirdiği konulardan birisi kanat-gövde bağlantısı olup, bu çözümlerden bazıları aşağıda listelenmiştir (Şekil 3).

- Kanat üzerindeki fittinglerle gövde çerçeveleri üzerindeki deliklerin birlikte delinmesi ve raybalanması.
- Kanat üzerindeki fittinglerin tezgahta nihai çapa getirildikten sonra kanat fikstüründe bu delikler kullanılarak takılması.
- Çerçeveler imal edilirken deliklerinin tezgahta düşük çapta (undersize) delinmesi, montaj esnasında kanat fittinglerinin delikleri ile birlikte büyütülmesi.
- Çerçeve kulaklarının bir yüzeyi ile kanat fittingi arasında boşluk olmayacak şekilde montaj yapılabilmesi.



Şekil 3: Kanat –Gövde Bağlantısında Çerçeve-Fitting Birleşimi

Bu konularla ilgili limitasyonlar değerlendirilmiştir.

- Titanyumun sert bir malzeme olması,
- Delik çaplarının büyük olması,
- Yük taşıma gereksinim nedeniyle sıkı tolerans (boşluksuz geçme) ihtiyacı bulunması,
- Değiştirilebilirlik (I/R) gereksinimi,

Detay tasarım fazından itibaren ise, oluşturulmuş modeller veya teknik resimler imalat mühendisleri tarafından incelenerek görüş bildirilmekte; onay veya red kararı verilmektedir. Ayrıca parçaların imalatı için mühendislik ölçülerine ilave edilecek en uygun fazlalıklar (excess) belirlenmekte ve bu parçaların temin şekli ile ilgili alternatifler değerlendirilerek karar verilmektedir.

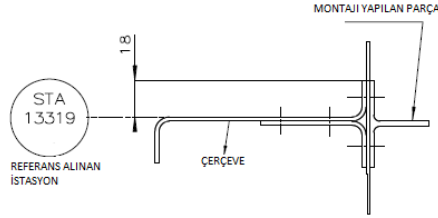
Bu aşamada teknik resimlerin incelenmesinde belirli kriterler oluşturularak bunları bir kontrol listesi haline getirip, referans olarak kullanmaya başladık (Çizelge 1).

TEKNİK RESİMLERİN İNCELENMESİ SIRASINDA KONTOL EDİLECEK MADDELER				DOĞRU/ GEÇERLİ	EKSİK/HATALI
1	Teknik resmin ilk sayfasında tam ve doğru bir resim başlığı var mı, bu blokta aşağıdaki bilgiler eksiksiz ve doğru bir şekilde yer alıyor mu?				
a	DWG NO	f	DWG NO CHANGE		
b	TITLE	g	PROGRAM NAME		
c	SCALE	h	DIMENSION TYPE		
d	CODE	i	TOLERANS		
e	DATE	j	I/R, FCC, S/I		
4	Parça listesinde geçen malzemeler en az bir kez teknik resimde geçiyor mu? (Parça listesinde geçmeyen parçalar REF ile işaretlenmiş olmalıdır)				
5	Parça listesinde verilen malzemem miktarı doğrumu, Resimle uyumlumu, işi yapmak için yeterli mi				
6	Parça listesinde verilen parçaların numaraları doğru mu?				
7	Lokal notlar ve genel notlar konusunda speçlerle çelişkili durumlarda notlar önceliklidir				
9	Notlar ilk sayfada olmalı. İlk sayfada başlangıcı yer alan bölünmüş notların teknik resmin neresinde devam ettiği verilmiş mi?				
11	Lokal notlar bayraklanmış mı (flag note) ve resimde uygun yerlere yerleştirilmiş mi veya ok ile gerekli olduğu yer belirtilmiş mi?				
12	Teknik resimde yer alan çizgiler doğru kullanılmış mı				
a	Merkez çizgileri	e	Datum çizgileri		
b	Ölçü gösterimleri	f	Görünüş çizgileri (view, section, detail)		
c	Oklar	g	Kesik çizgiler		
d	Kesit çizgileri				
13	Görünüşlerin (view, section, detail) bölgesel (zonal) yerleri belirtilmiş mi ve adresleri doğru mu?				

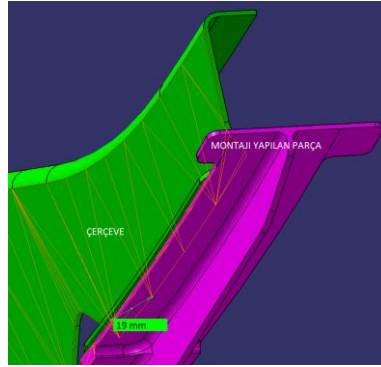
Çizelge 1: Resim kontrol listesinden bir kısım

Şekil 4'te, bununla ilgili bir örnek görülmektedir. Bir modifikasyon projesine ait tasarım çözümünde montajı yapılan parçanın uçağa yerleşiminde kullanılmak üzere bir kenarının 13319 istasyonuna olan mesafesi 18 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 4, a). 13319 istasyonu uçakta bulunan somut bir nokta olmadığından, doğrudan referans alınarak kullanılamamaktadır. Ölçümlerle ya da yardımcı takımlarla yerinin belirlenmesi gerekir ki, bu yöntem zaman kaybı ve maliyet getirmektedir. Bunun yerine 13319 istasyonunda bulunan çerçeve (frame) kullanılabilir. Ancak CAD modelinde görüldüğü üzere, çerçevenin istasyondaki yüzeyi ile montajı yapılacak parçanın kenarı arasındaki mesafe 19 mm ölçülmektedir (Şekil 4, b). Bunun sebebi muhtemelen uçağın imalatı sırasında çerçevenin olması gereken yere monte edilmemiş olmasıdır. O nedenle, teknik resimde gösterildiği gibi çerçevenin istasyonda olduğu kabul edilerek montaj yapıldığında parça yanlış yerleştirilmiş olacaktır. Bu durumda montaj edilebilirlik açısından teknik resmi inceleyen imalat mühendisi ilgili tasarım mühendisleri ile koordinasyon kurarak, 18 mm değerindeki mesafenin vazgeçilmez olup olmadığına bağlı olarak iki seçenekten birisini tercih etmek durumunda kalacaktır: Teknik resmi bu şekilde kabul ederek

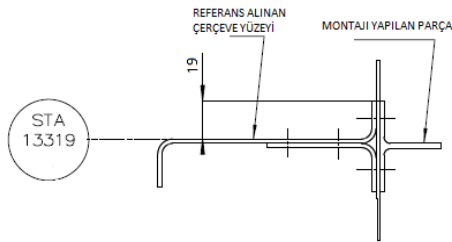
onaylamak, ya da çerçevenin yüzeyini referans olarak kullanmayı mümkün kılacak şekilde değişiklik talep etmek (Şekil 4, c).



(a)



(b)



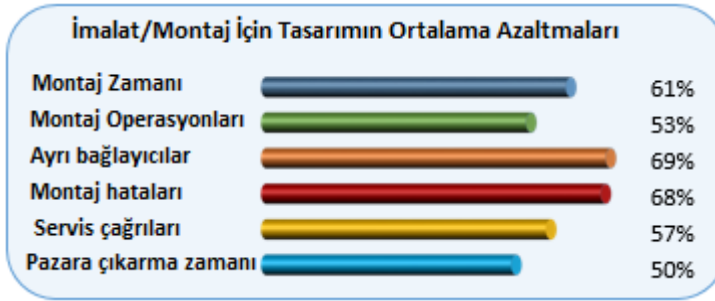
(c)

Şekil 4: Ölçülerin sanal referans yerine somut parçalardan alınması tercih edilir

İMALAT/MONTAJ İÇİN TASARIM DAN EDİNDİĞİMİZ FAYDALAR

İmalat/montaj için tasarım felsefesinin en verimli biçimde hayata geçirilebilmesi için tecrübeli imalat mühendislerinin özgün ürün geliştirme projelerinde tasarım faaliyetlerine erken aşamada dahil olarak tasarım mühendisleri ile birlikte çalışması gerekiyordu. Çünkü uçak sistemlerine ait tasarım çözümleri ön tasarım aşamasında belirlenirken, bunların fonksiyonel olarak doğrulanması uçağın nihai montaj işlemlerinden sonra başlayan yer testleri ile mümkün olmaktadır. Bu durumda, örneğin hidrolik sistemin sızdırmazlık testinde olumsuz bir durum yaşanması bu sistemin tasarımında ciddi değişiklik gerektirebilir ve projenin takvimi olumsuz etkilenir.

Şekil 5'te görüldüğü gibi, imalat/montaj için tasarım yaklaşımı ile bir çok iyileştirmeler elde edilebilmektedir [Tsay, 2018].



Şekil 5: DFMA yönteminin faydaları

Özgün projelerimizde DFMA yöntemini yaygınlaştırarak detay parça imalatında ve montaj alanında yaşadığımız birçok problemi indirgemenin ve bir projenin temel göstergeleri olan maliyet, kalite ve zaman açısından iyileştirmeler yapmanın mümkün olduğunu gördük.

Bunların başında, proses sayısını azaltmak gelmektedir. Mümkün olduğunca parçaları konsolide ederek alt montajlar yerine detay parçalara indirmek esas alınmıştır.

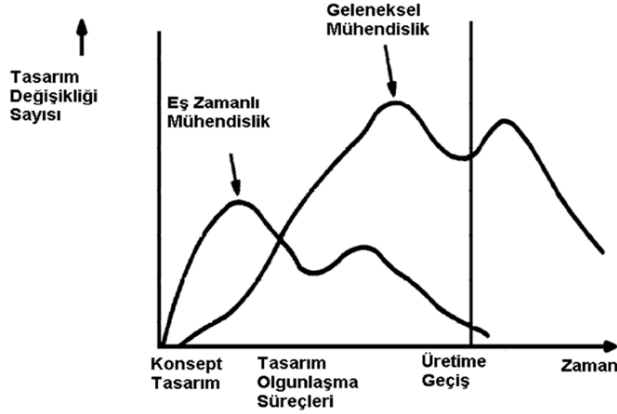
Örneğin, 6.000 detay parçanın kullanıldığı bir uçakta parça sayısını azaltmak ve birden fazla parça içeren alt montajlar yerine, bunların tek parçaya konsolide olduğu tasarım çözümleri bulmak her zaman mümkündür. Bunun için gerekli olan ise, tasarım faaliyetlerine bir imalatçı perspektifinden yaklaşımdır. O nedenle, eşzamanlı mühendislik, imalat mühendisliği, malzeme ve proses mühendisliği gibi birimler DFM/A anlayışına uygun tasarım yapılması için tasarım mühendislerine gerekli yönlendirmeleri yapmaktadır.

İşçilik ve malzeme gibi tekrarlayan maliyetler projelerin başarısını önemli oranda etkilemektedir. Tek bir parçanın deliğinin azaltılması bile uçak başına en az bir dakikalık işçilik kazandıracaktır. Bu anlamda yapılanlardan birisi, proses sayısını azaltmaktır. Bir tasarım çözümü belirlenirken, o tasarım çözümünün fiziksel olarak gerçekleştirilmesinin muhtemel yöntemleri, yani prosesler de belirlenmiş olur. Uygulamalarımızda, proses sayısını azaltmak adına mümkün olduğunca parçaları konsolide ederek alt montajlar yerine detay parçalara indirmek esas alınmıştır.

Bir başka kolaylık, fikstür kullanılarak yapılan montaj işlemlerinde belirleyici parçaların yerleşim (tutma) noktalarını uygun konumda belirlemektir. Özellikle komponentlerin tasarımını yaparken, imalatı uzun süren fikstürlere yerleşimini dikkate almak montaj alanında zaman, kalite ve maliyet açısından fayda sağlamaktadır.

Tasarım sürecindeki mühendislik değişikliklerini yapmak kolaydır. Üretim sürecinde ortaya çıkan tasarım değişiklikleri ise geri söküm, yeniden çalışma, yeniden test, düşük üretim oranı, artan maliyetler ve gecikmeler anlamına gelmektedir [Kerzner, 2009]. Üretim için tasarım tekniğinin bir diğer olumlu yansıması ise, Şekil 6'da görüldüğü üzere mühendislik çözümleri üretim birimlerine yayınlanmadan önce olası sorunlar dikkate alınarak çözüldüğü ve tasarım olgun, imal edilebilir

duruma getirildiği için, üretim sırasında mühendislik değişikliği ihtiyacının azalması olmuştur [Beale, 2001].



Şekil 6: Zamanın fonksiyonu olarak tasarım değişiklikleri

SONUÇ

Uzun yıllar dışa bağımlı projelerde ‘tasarıma uygun imalat/montaj’ yapma konusunda uzmanlaştıktan sonra, TAI Uçak Genel Müdür Yardımcılığının özgün projelerinde eşzamanlı mühendislik çerçevesinde imalat/montaj için tasarım yaklaşımı benimsenmiştir. Bu konuda liderlik eden birim ise imalat mühendisliği olmuştur.

Edinilen kıyaslama (benchmarking) yetkinliği ve geçmişte ortak üretim projelerinde yaşanan bazı tecrübeler de göz önünde bulundurularak uygulanan bu teknik sayesinde hem güvenli, hem de daha kolay üretilebilir mühendislik çözümleri sunulmaktadır. Son yıllardaki özgün projelerde tasarım birimleri ile üretim birimleri kavramsal tasarım aşamasından itibaren koordinasyon içerisinde çalışmaya başlamakta, bu sayede komponentler için fiktür gereksinimlerinin ve bunların fiktüre nasıl yerleştirileceğinin, hangi parçaların alt montaj, hangilerinin detay parça olacağının belirlenmesi, takım fiktür çalışmalarının ve imalata geçişin daha erken başlaması, üretim alanlarında mühendislik kaynaklı problemlerin azalması mümkün

olmaktadır. Tasarımda optimum çözümler araştırılmakta, bu çabalar imalat ve montaj açısından kolaylık sağlamaktadır.

Havacılık sektörü için olduğu kadar, diğer alanlarda da önemli olan bu yaklaşımı benimseyerek yaygınlaştırmak; uygulanmasını kolaylaştıracak eğitimler ve yazılımlarla desteklemek faydalı olacaktır.

Kaynaklar

Annamalai, K., Naiju, C.D., Prashanth, M.M., 2012, Early Cost Estimate of Product During Design Stage Using Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) Principles, Advanced Materials Research, Vols. 622-623 Trans Tech Publications, Switzerland, 12.27.2012, p.540

Ashley, S., 1995, Cutting Cost and Time with DFMA, Mechanical Engineering, 117(3), p.74-77.

Beale, D., Bonometti, J., 2001, Lunar Engineering Handbook, Chapter 2, Systems Engineering, NASA, 2001

Boothroyd, G., Dewhurst, P., Knight, W., 2002, Product Design for Manufacture and Assembly, Marcel Dekker Inc., 2. Issue, p. 16,54.

Doğan, U., 2002, Ürün ve Hizmet Tasarımı, kisi.deu.edu.tr/userweb/uzeyme.dogan/uruntasarimi.pdf, 11.06.2018 tarihinde giriş yapıldı

Herrmann, W.J., Cooper, J., Gupta, K.S., Hayes, C.C., Ishii, K., Kazmer, D., 2004, New Directions in Design for Manufacturing, Department of Mechanical Engineering and Institute for Systems Research, University of Maryland, 2004, p. 2-11.

Kerzner, H., 2009, Project Management, A System Approach to Planning, Scheduling, and Controlling, Tenth Edition, New York: John Wiley and Sons, Inc., p. 22.

Mani. M, Manikandan. K, Manikandan. M, 2015, Design for Manufacturing Based On Concurrent Engineering, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Volume 4, Special Issue 2, February 2015, p.129

Mazumdar, S.K., 2002, Composite Manufacturing: Materials, Product and Process Engineering, Volume 5, CRC Press LLC, 2002, p.1.

Meeker, D.G., Rousmaniere, A., 1996, DFMA and its Role in the Integrated Product Development Process, MIT, <http://web.mit.edu/meeker/PuDFMAandIPDP.pdf>, 16.06.2018 tarihinde giriş yapıldı

Naiju, C. D., Jayakrishnan, V., Pranav, V., Warriar, V., Rijul, B., 2016, Application of Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) Methodology in the Steel Furniture Industry, National Conference on Technological Advancements in Engineering 2016, Sree Narayana Guru College of Engineering and Technology, Payyanur

Prakash, W. N., Sridhar, V.G., Annamalai, K., 2014, New Product Development by DFMA and Rapid Prototyping, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol.9, No.3, March 2014, p.274.

Tsai, C., 2018, Product Simplification & Costing Using Design for Manufacture and Assembly, <https://www.dfma.com/services/scourse.asp>, 02.07.2018 tarihinde giriş yapıldı.

Watts, S., 28 April 2005, Design for Manufacture and Assembly, Production Engineering Division Engineering Directorate Aviation & Missile Research, Development, & Engineering Center Research, Development, & Engineering Command, Redstone Arsenal, AL

Xie, X., 2006, Design for Manufacture and Assembly, Dept. of Mechanical Engineering, University of Utah, Applied Mechanics and Machines, p. 313-314, 02.07.2018 tarihinde giriş yapıldı.