

**FARKLI YAZILIM SİSTEMLERİ KULLANARAK BİR YOLCU
UÇAĞI PANELİNİN ÜRETİMİ İÇİN OTOMATİK PERÇİN
TEZGÂHI NC KODLARININ OLUŞTURULMASI VE
KARŞILAŞTIRILMASI**

**AUTOMATIC RIVETING MACHINE NC CODE
GENERATION AND COMPARISON BY USING DIFFERENT
SOFTWARE SYSTEMS FOR PRODUCTION OF
PASSENGER PLANE SHELL**

OSMAN EMRE ÇELEK

PROF. DR. BORA YILDIRIM

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2014

OSMAN EMRE ÇELEK' in hazırladığı “**Farklı Yazılım Sistemleri Kullanarak Bir Yolcu Uçağı Panelinin Üretimi için Otomatik Perçin Tezgâhı NC Kodlarının Oluşturulması ve Karşılaştırılması**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'** nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Özgür EKİCİ
Başkan


4

.....

Prof. Dr. Bora YILDIRIM
Danışman


.....

Yrd. Doç. Dr. Kayhan İMRE
Üye


.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel, ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

10/04/2014



Osman Emre ÇELEK

ÖZET

FARKLI YAZILIM SİSTEMLERİ KULLANARAK BİR YOLCU UÇAĞI PANELİNİN ÜRETİMİ İÇİN OTOMATİK PERÇİN TEZGÂHI NC KODLARININ OLUŞTURULMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI

OSMAN EMRE ÇELEK

Yüksek Lisans, Makine Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. BORA YILDIRIM

Nisan 2014, 100 Sayfa

Uçak üretimi oldukça zorlu bir işdir. Uçakların ortalama kırk yıl ömrü olması beklenir. Yüksek hızlarda ve yüksekliklerde uçağın havada maruz kaldığı yük, sürtünme, titreşim ve basınca dayanabilmesi için hatasız, yüksek kaliteli bir montaj prosesi gereklidir. Havacılık endüstrisinde uçak parçaları montajının büyük çoğunluğu delik delme ve perçinleme prosesleriyle gerçekleştirilir.

Modern savaş uçaklarında en az 100.000 adet, büyük ticari uçaklarda ise 2.000.000 adetten fazla perçin kullanılmaktadır. Elle yapılan ve işçiliğe dayanan montaj prosesleri, maliyetin %65' ini oluştururken, kalite hatalarının %85 'ini ve zaman kayıplarının %80' ini oluşturur. Uçaklarda kullanılan bağlayıcı miktarlarının yüksek olması, işçiliğin maliyeti artırması, kalite, zaman, montaj proseslerinin karmaşıklığı, ergonomi ve güvenlik gibi başlıca nedenler havacılık endüstrisini otomasyona yöneltti. 20.yüzyılda havacılık endüstrisinde bağlayıcılardaki, bağlayıcı ekipmanlarındaki ve montaj tekniklerindeki gelişmeler perçin teknolojisindeki gelişmeleri de beraberinde getirdi. Bu gelişmelerle birlikte, uçaklarda çok fazla sayıda bağlayıcı kullanılması ve özellikle yolcu uçaklarına olan talebin yoğun bir şekilde artması sonucu, otomatik perçin tezgâhlarına ihtiyaç duyuldu. Bu tezgâhlar ilk olarak 1940'lı yıllarda ABD' de üretildi ve kullanılmaya başlandı. Otomatik perçin tezgâhları uçak panelleri üzerinde takılacak olan bağlayıcıları yerleştiren veya delik delme işlemlerini otomatik olarak ve sayısal kodlar kullanarak yapan tezgâhlardır.

Bu çalışma, TUSAŞ (Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş.) tarafından desteklenmiştir. Otomatik perçin tezgâhları TUSAŞ tesislerinde bulunmaktadır. Tezgâhlar gizlilik açısından A, B ve C tezgâhları olarak adlandırılmışlardır.

Bu çalışmada; üç farklı otomatik perçin tezgâhında farklı yazılım sistemleri kullanılarak bir yolcu uçağı panelinin üretimi için yaklaşık 11.000 satırlık 6 adet NC program hazırlanmıştır. Her üç tezgâha ait yazılım sistemleri kodlama, çıktı ve simülasyon açısından tamamen farklı olmasına rağmen aynı amaca hizmet etmektedir. Sıfır hata ile üretim için simülasyonlar yapılmıştır. Gerekli bilgilerin elde edilmesi için öncelikle üç boyutlu modelleme ve tersine mühendislik çalışmaları yapılmış, 3500 adet perçin ve koordinat verileriyle ilgili tezgâhlar için perçin veri dosyaları oluşturulmuştur. Elde edilen perçin verileri perçin tipleri, çapları, boyları, proses sırası gibi bilgilere göre renk kodları verilip sınıflandırılmıştır. Modellerin üç boyutlu geometrik bilgilerini taşıyan stereo litografi dosyaları hazırlanmıştır. Daha sonra, birinci ve ikinci aşama olmak üzere yeni bir NC programlama metodu geliştirilmiştir. Üç farklı yazılım sistemini avantaj ve dezavantajlar yönünden programlar kod bazında karşılaştırılmıştır. Hazırlanan NC programlarla bu panellerin üretimi ilk defa otomatik perçin tezgâhlarında başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Son olarak, her üç tezgâhın performanslarının karşılaştırılması için 8 mm kalınlığında test plakaları hazırlanmıştır. DAN8-6, KE5 ve KE6 tipi perçin delikleri için delik çapı, dairesellik, diklik ve konsantriklik değerleri, KE5 ve KE6 perçin tipleri içinse düğme yüksekliği ve havşa derinliği değerleri ölçülmüştür. İlgili kalite dökümanlarıyla ölçülen değerler karşılaştırılmış ve kontrol edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Otomatik perçin tezgâhı, perçin veri dosyası, stereo litografi dosyası, çevrimdışı programlama ve simülasyon sistemleri

Danışman: Prof. Dr. Bora YILDIRIM, Hacettepe Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

ABSTRACT

AUTOMATIC RIVETING MACHINE NC CODE GENERATION & COMPARISON BY USING DIFFERENT SOFTWARE SYSTEMS FOR PRODUCTION OF PASSENGER PLANE SHELL

OSMAN EMRE ÇELEK

Master of Science, Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. BORA YILDIRIM

April 2014, 100 pages

Building an airplane is a challenging field. Airplanes have a life expectancy of forty years and are subjected to vibrations, frictions, pressure and loads during flying. This demands accurate and high quality in the assembly processes. Mostly, assembly processes are made through drilling and fastening in the aircraft industry.

There can be well over 100,000 holes that need to be drilled and countersunk in a modern military fighter airframe and more than 2,000,000 in a large commercial airframe. Sixty-five percent of the cost of airframe assembly, eighty-five percent of the quality issues and eighty percent of the lost time injuries are the result of the hand process. The large number of rivets and the hand method drives cost, quality, schedule, complexity, and safety. This headed aircraft industry to automation. The design fundamentals of riveting technology have developed to different extends in terms of fasteners, assembly techniques and riveting equipment in twentieth century. High production rates of rivet intensive transport and passenger production in United States of America led to early use of automatic riveting. ARM has been developed and used since 1940. These machines are capable of carrying out drilling, countersinking and fastening operations automatically by using computer controlled numerical codes.

This study was sponsored by the Turkish Aerospace Industries (TAI). Automatic riveting machines are located in TAI facilities. These machines are called as A, B and C for confidentiality.

In this study, number of six NC program (11.000 line) were created for production of passenger plane shell by using three different ARM's different software systems. Although the objective is same, each software system is totally different such as coding, post-processing and simulation. Simulations were completed for accurate production. Firstly, 3D modeling and reverse engineering studies were carried out to obtain necessary information. After that rivet data files were created related to coordinate data for number of 3500 rivets. Rivet information were classified with respect to rivet type, diameter, length, process sequences by using determined color codes. Stereo lithography files which contain 3D model information of the shells were prepared. Secondly, NC programming method was developed as first and second stages. Advantages and disadvantages of three different programming software systems were compared. Production of passenger plane shells were accomplished by using NC programs with three different ARM for the first time.

Finally, test plates which have 8 mm thickness were manufactured to determine performance of ARM. Ten holes were drilled to measure the hole diameter, roundness, perpendicularity and concentricity for KE5, KE6 and DAN8-6 rivet types. Also ten rivets were fastened to measure button height and flushness. Measured values were compared to each other and checked according to relevant quality specification.

Key Words: Automatic riveting machine, rivet data file, stereo lithography file, offline programming and simulation system

Advisor: Prof. Dr. Bora YILDIRIM, Hacettepe University, Department of Mechanical Engineering

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenim hayatım ve tez çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, moral ve motivasyonumu kaybetmeden çalışmalarımı sürdürmemde büyük etken olan değerli hocam Prof. Dr. Bora YILDIRIM'a,

Bilgi ve deneyimlerini paylaşan değerli jüri üyelerine,

Bu tezin hazırlanmasına imkan sağlayan TAI Operasyonlar Direktörü Sn. Aydoğın YAZICI' ya, yoğun iş temposuna rağmen teknik bilgileri, gösterdikleri destek, anlayış ve yardımları için Otomasyon Şefi Sn. Zeki DOĞAN'a, Otomasyon Teknik Uzman Mühendisi Sn. Kadir AKKUŞ' a, Otomasyon Teknik Uzman Mühendisi Sn. Burak ATAK' a, manevi destekleri için Otomasyon Uzman Mühendisi Sn. Ali SORGUN'a, Otomasyon Mühendisi Sn. Çağatay CENGİZ'e teşekkür ederim.

Sağladığı kaynaklardan ötürü TAI kütüphanesine, test plakaları ölçümlerindeki yardımlarından ve arkadaşlığından dolayı Kalite Mühendisi Sn. Bünyamin Akkılıç'a teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca sonsuz destek ve sevgileri ile bana güç veren çok sevgili annem, babam ve kardeşlerime, bana olan inancı, sabrı ve sonsuz desteğiyle hep yanımda olan eşim Tuğçe ÇELEK'e, ailesine ve sayamadığım daha birçok insana destekleri ve sabırları için içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER	xi
ÇİZELGELER	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bakış	1
1.2. Literatür Araştırması	3
1.3. Perçinlerin Tarihçesi	5
1.4. Uçaklarda Kullanılan Perçinler ve Çeşitleri	7
1.5. Perçinlerin Sınıflandırılması	8
1.5.1. Universal Başlı Perçinler	8
1.5.2. Havşa Başlı Perçinler	9
1.5.3. Hi-lock Perçinler	11
1.5.4. Kör Perçinler	12
2. DÖNÜŞÜM DENKLEMLERİ VE PERÇİNLEME TEORİSİ	13
2.1. Dönüşüm Denklemleri	13
2.2. Perçinleme Teorisi	18
3. OTOMASYON TEZGÂH SİSTEMLERİ VE UYGULAMALARI	20
3.1. Otomasyon Tezgâhlarına Genel Bakış	20
3.2. Otomatik Perçin Tezgâhları	20
3.2.1. C Frame Perçin Tezgâhı	21
3.2.2. Gantry Perçin Tezgâhı	22
3.2.3. Yoke Perçin Tezgâhı	23
3.2.4. Gövde Panel Perçin Tezgâhı	24
3.2.5. Flex Track Tezgâhı	24
3.2.6. Frame-Clip Perçin Tezgâhı	25
3.2.7. Kanat Delme ve Perçinleme Tezgâhları	26
3.2.8. Nacelle Perçin Tezgâhı	27

3.2.9.	Ramp Door Perçin Tezgâhı	28
3.3.	Otomatik Perçin Tezgâhları Sistem, Aksesuar ve Ekipmanları	28
3.3.1.	Üst Perçinleme Kafası	28
3.3.2.	Anviller (Alt Perçinleme Kafası)	29
3.3.3.	Operatör Kontrol Paneli	30
3.3.4.	Perçin Besleme Sistemi.....	30
3.3.5.	Kenar Mesafe İzleyici.....	32
3.3.6.	Referans Delik Tespit Sistemi.....	32
3.3.7.	Sızdırmazlık Malzemesi Besleme Ünitesi	33
3.3.8.	Vakumlu Talaş Çekme Ünitesi.....	33
3.3.9.	Kırılan-Eksik Çakı Dedektörü.....	33
3.3.10.	Kayıp Perçin Dedektörü	33
3.3.11.	Yağlama Ünitesi.....	33
3.3.12.	Tezgâh Proses Sayacı.....	33
3.3.13.	Talaş Uzaklaştırıcısı	33
3.3.14.	Video Monitör Sistemi.....	34
3.3.15.	Normalite Sensörleri	34
3.3.16.	Uçak Parçası Pozisyonlama Sistemi	34
3.3.17.	Kontrol Göstergeleri.....	34
3.3.18.	Delik-Havşa Ölçüm Probları	34
4.	MANUEL VE OTOMATİK PERÇİNLEME	35
5.	OTOMATİK PERÇİN TEZGÂHINDA NC PROGRAMLAMA	38
5.1.	Üç Boyutlu Uçak Panel Modelinin Oluşturulması	41
5.2.	Bağlayıcı Pozisyonlarının Belirlenmesi.....	41
5.3.	Pozisyonları Belirlenen Bağlayıcıların Sınıflandırılması	42
5.4.	Paneldeki Referans-Birleştirici Deliklerin Belirlenmesi	44
5.5.	NC Programlama Metodunun Geliştirilmesi	46
5.6.	Bağlayıcı Veri Dosyalarının Hazırlanması	48
5.6.1.	Bağlayıcı Veri Dosyası.....	48
5.6.2.	Bağlayıcı Proses Veri Dosyası.....	52
5.7.	Stereo Litografi Dosyalarının Hazırlanması.....	54
6.	FARKLI ÇEVİRİMDİŞİ PROGRAMLAMA SİSTEMLERİ, KOMUTLARI, PROGRAM OLUŞTURULMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI.....	55
6.1.	Yazılımların Araç Çubukları.....	60

6.2.	Matkap Seçimi.....	61
6.3.	Anvil Seçimi.....	62
6.4.	Anvil Dönüş	63
6.5.	Anvil Stroku	64
6.6.	Tezgâh Eksen Hareketleri	65
6.7.	Referans Delik Bulma.....	66
6.8.	Anvil En Alt Noktaya Çekme	67
6.9.	Anvil En Üst konuma Çekme.....	68
6.10.	Normalite Sensörlerini Açma Kapama	69
6.11.	Havşa Yüksekliği Kontrolü	70
6.12.	Kenar Mesafe İzleyici	71
6.13.	Gagalama Yöntemiyle Delme	72
6.14.	Delme ve Perçinleme	73
6.15.	Kalınlık Değişimlerinde Perçin Yedekleme.....	74
6.16.	Delikli Bölgeye Perçin Yerleştirme	75
7.	SİMÜLASYONLAR	77
7.1.	DNC Sistemi ile Program Aktarımı	80
8.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	82
9.	SONUÇLAR.....	94
	KAYNAKLAR.....	96
	ÖZGEÇMİŞ	99

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

T	Toplam Dönüşüm
D	Deplasman
R_x	x Rotasyonu
R_y	y Rotasyonu
R_z^θ	z Açısı ve Rotasyonu
V	Ezilen Perçin Hacmi
D_0	Perçin Çapı
H	Perçin Yüksekliği
σ_{sq}	Ezme Gerilmesi
F_{sq}	Ezme Kuvveti
ε_x	Üniform x Gerinimi
ε_y	Üniform y Gerinimi
ε_z	Üniform z Gerinimi
K	Mukavemet katsayısı
n	Gerinim Sertleşmesi Üsteli

Kısaltmalar

ARM	Automatic Riveting Machine
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CATIA	Computer Aided Three Dimensional Interactive Application
CAWDE	Composite Automatic Wing Drilling Equipment
CMM	Coordinate Measurement Machine

CNC	Computer Numerical Control
CORA	Class Optimized Robot Application
DMAPS	Design Manufacturing and Producibility Simulation
DNC	Direct Numerical Control
FPDF	Fastener Process Data File
HMI	Human Machine Interface
NC	Numerical Control
OLPS	Offline Programming System
RDF	Rivet Data File
STL	Stereo Lithography
VNC	Virtual Numerical Control

ŞEKİLLER

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Tipik bir uçak üretim prosesi [1]	1
Şekil 1.2 Uçak ve montaj maliyeti [2]	2
Şekil 1.3 Günümüze ait tipik uçak gövde yapılarının bölümleri [19].....	7
Şekil 1.4 Perçinlerin genel sınıflandırılması [20].....	8
Şekil 1.5 Üniversal ve havşa başlı perçin	9
Şekil 1.6 Perçin başı sembolleri	9
Şekil 1.7 Hi-lok perçin [22].....	11
Şekil 1.8 Sırasıyla kör perçin yerleştirilmesi ve sökülmesi [23].....	12
Şekil 2.1 Kartezyen koordinat sistemi.....	13
Şekil 2.2 Vektörün genel transformu [1]	14
Şekil 2.3 Transform döngüsü [1].....	14
Şekil 2.4 Vektör koordinat eksenleri	15
Şekil 2.5 Y ekseninde etrafında vektör hareketi	16
Şekil 2.6 Z ekseninde etrafında vektör hareketi.....	17
Şekil 2.7 Perçin deformasyon geometrisi [25]	18
Şekil 3.1 C-Frame otomatik perçin tezgâhı [27].....	22
Şekil 3.2 Brötje-iGantry perçin tezgâhı [28]	23
Şekil 3.3 Yoke perçin tezgâhı [29]	23
Şekil 3.4 CORA robotu [30]	24
Şekil 3.5 Flex Track tezgâhları [31]	25
Şekil 3.6 Frame-Clip perçinleme tezgâhı [32].....	26
Şekil 3.7 CAWDE tezgâhı [33].....	27
Şekil 3.8 Nacelle perçin tezgâhı [34]	27
Şekil 3.9 Ramp door perçin tezgâhı [35]	28
Şekil 3.10 Üst perçinleme kafası [36]	29
Şekil 3.11 Sırasıyla düz ve ofset anvil örnekleri	30
Şekil 3.12 Operatör kontrol paneli	30
Şekil 3.13 Perçin besleme ünitesi ve perçin kasetleri [36].....	31
Şekil 3.14 Kenar mesafe izleyici cihazı	32
Şekil 3.15 Referans delik tespit monitörü	33

Şekil 4.1 Otomatik perçinleme döngüsü	36
Şekil 4.2 Proses hızı karşılaştırması	37
Şekil 5.1 Üç farklı otomatik perçin tezgâhı için kullanılan program ara yüzleri	39
Şekil 5.2 NC program ile panel üretim genel akışı.....	40
Şekil 5.3 Yolcu uçağı panelinin üç boyutlu modeli.....	41
Şekil 5.4 Lazer takip cihazı ölçümü [37]	42
Şekil 5.5 Bağlayıcıların sınıflandırılması.....	44
Şekil 5.6 Panel modelindeki referans-birleştirici delikler	45
Şekil 5.7 Referans delik yerleştirme çalışmalarından bir örnek	45
Şekil 5.8 Birinci aşama NC program uçak panel yapısı	46
Şekil 5.9 İkinci aşama NC program uçak panel yapısı	47
Şekil 5.10. Birinci ve ikinci program aşamalarına göre sınıflandırılan bağlayıcılar	48
Şekil 5.11. VNC Delmia perçin veri dosyası kesiti	49
Şekil 5.12 Onarlı gruplara ayrılan bağlayıcılar	51
Şekil 5.13 FPDF satır tanımı	52
Şekil 5.14 B OLPS FPDF kesiti	53
Şekil 5.15 VNC Delmia stereo litografi dosyası	54
Şekil 6.1 Sistemin genel çalışma prensibi [38]	55
Şekil 6.2 Sırasıyla A,B ve C yazılımlarının araç çubukları	60
Şekil 6.3 Matkap seçimi.....	61
Şekil 6.4 Anvil seçimi.....	62
Şekil 6.5 Anvil dönüşü	63
Şekil 6.6 Anvil stroku	64
Şekil 6.7 Tezgâh eksen hareketleri komutu.....	65
Şekil 6.8 Referans delik bulma komutu	66
Şekil 6.9 Anvil en alt nokta konum komutu	67
Şekil 6.10 Anvil en üst nokta konum komutu	68
Şekil 6.11 Normalite sensörlerini açma kapama komutu	69
Şekil 6.12 Havşa yüksekliği kontrol komutları.....	70
Şekil 6.13 Kenar mesafe izleyici komutları	71
Şekil 6.14 Gagalama yöntemiyle delme komutu.....	72
Şekil 6.15 Delme ve perçinleme komutları	73

Şekil 6.16 Kalınlık değişimlerinde perçin yedekleme komutu	74
Şekil 6.17 Delikli bölgeye perçin yerleştirme	75
Şekil 7.1 VNC Delmia ile simülasyon	78
Şekil 7.2 B OLPS ile simülasyon	79
Şekil 7.3 Vericut7.2 ile simülasyon	79
Şekil 7.4 DNC veri aktarma yöntemi ve DNC ara yüzü	80
Şekil 7.5 DNC ara yüzü	81
Şekil 8.1 Kesme parametreleri belirleme çalışmaları.....	83
Şekil 8.2 Geometrik karakteristik ölçümlerin yapıldığı test plakaları	84
Şekil 8.3 Koordinat ölçüm tezgâhı ve dijital mihengir	85
Şekil 8.4 DAN8-6 perçin tipi için delik çapı ölçüm grafiği	85
Şekil 8.5 KE5 perçin tipi için delik çapı ölçüm grafiği.....	86
Şekil 8.6 KE6 perçin tipi için delik çapı ölçüm grafiği.....	86
Şekil 8.7 DAN8-6 perçin tipi için delik dairesellik ölçüm grafiği.....	87
Şekil 8.8 KE5 perçin tipi için delik dairesellik ölçüm grafiği.....	87
Şekil 8.9 KE6 perçin tipi için delik dairesellik ölçüm grafiği.....	88
Şekil 8.10 DAN8-6 perçin tipi için delik diklik ölçüm grafiği.....	88
Şekil 8.11 KE5 perçin tipi için delik diklik ölçüm grafiği.....	89
Şekil 8.12 KE5 perçin tipi için delik diklik ölçüm grafiği.....	89
Şekil 8.13 DAN8-6 perçin tipi için delik konsantriklik ölçüm grafiği	90
Şekil 8.14 KE5 perçin tipi için delik konsantriklik ölçüm grafiği	90
Şekil 8.15 KE6 perçin tipi için delik konsantriklik ölçüm grafiği	91
Şekil 8.16 KE5 perçin tipi için perçin düğme yüksekliği ölçüm grafiği	91
Şekil 8.17 KE6 perçin tipi için perçin düğme yüksekliği ölçüm grafiği	92
Şekil 8.18 KE5 perçin tipi için perçin havşa derinliği ölçüm grafiği	92
Şekil 8.19 KE6 perçin tipi için perçin havşa derinliği ölçüm grafiği	93

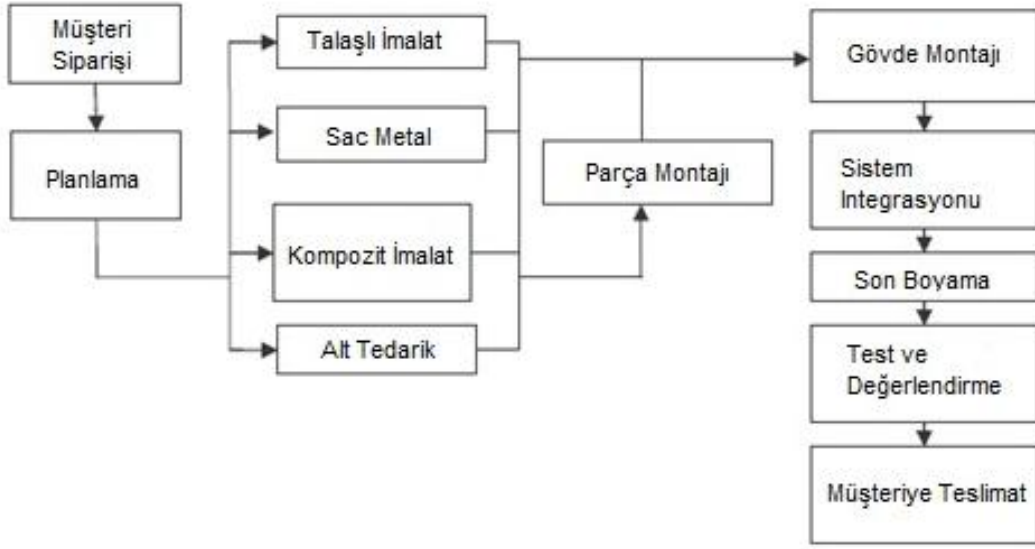
ÇİZELGELER

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 Farklı tip perçinlerin karşılaştırılması	11
Çizelge 4.1 Otomatik perçinlemede işçilik kazancı	35
Çizelge 5.1 Bağlayıcı sınıflandırılmasındaki renk kodları	43
Çizelge 5.2 Perçin veri çizelgesi	50
Çizelge 6.1 Perçin boylarına göre kalınlık değişimi	57
Çizelge 6.2 Üç tezgâh için program komutlarının karşılaştırılması	76
Çizelge 8.1 Kesme parametreleri değerleri	83
Çizelge 8.2 Geometrik karakteristik ölçüm tablosu	84

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bakış

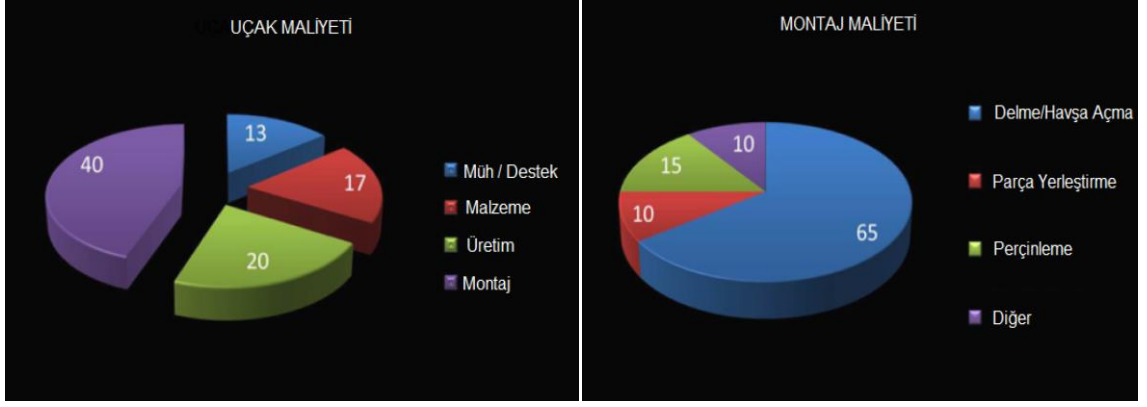
Uçak üretimi oldukça zorlu bir işdir. Bir uçağın ortalama 40 yıl ömrü olması beklenir. Yüksek hızlarda ve yüksekliklerde uçağın havada maruz kaldığı yük, sürtünme, titreşim, basınca dayanabilmesi için hatasız, yüksek kaliteli bir montaj prosesi gereklidir. Tipik bir uçak üretim prosesi Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Havacılık endüstrisinde uçak parçalarının büyük çoğunluğu delik delme ve perçinleme prosesleriyle gerçekleştirilir [1].



Şekil 1.1 Tipik bir uçak üretim prosesi [1]

Perçinleme, iki ya da daha fazla parçanın perçin bağlantı elemanlarıyla birbirinden ayrılmayacak şekilde birleştirilmesidir. Perçinleme, uçakların yapısal parçalarının üretiminde ve montajında kullanılan geniş kapsamlı bir metottur.

Modern savaş uçaklarında en az 100.000 adet, büyük ticari uçaklarda ise 2.000.000 adetten fazla perçin kullanılmaktadır. Elle yapılan ve işçiliğe dayanan montaj prosesleri, maliyetin %65'ini oluştururken, kalite hatalarının ve zaman kayıplarının %85'ini oluşturur. Uçaklarda kullanılan bağlayıcı miktarlarının yüksek olması, işçiliğin maliyeti artırması, kalite, zaman, montaj proseslerinin karmaşıklığı, ergonomi ve güvenlik gibi başlıca nedenler havacılık endüstrisini otomasyona yöneltti [2].



Şekil 1.2 Uçak ve montaj maliyeti [2]

20. yüzyıldan önce otomatik perçinleme için birçok girişimde bulunuldu fakat otomasyon alanındaki bu girişimlerin başarısı teknolojik ve ekonomik nedenlerle sınırlı kaldı. 20. yüzyılda havacılık endüstrisinde bağlayıcılardaki, bağlayıcı ekipmanlarındaki ve montaj tekniklerindeki gelişmeler perçin teknolojisindeki gelişmeleri de beraberinde getirdi. Bu gelişmelerle birlikte, uçaklarda çok fazla sayıda bağlayıcı kullanılması ve özellikle yolcu uçaklarına olan talebin yoğun bir şekilde artması sonucu, otomatik perçin tezgâhlarına ihtiyaç duyuldu. Bu tezgâhlar ilk olarak 1940'lı yıllarda ABD' de üretildi ve kullanılmaya başlandı.

Otomatik perçin tezgâhları uçak panelleri üzerinde takılacak olan bağlayıcıları yerleştiren veya delik delme işlemlerini otomatik olarak ve sayısal kodlar kullanarak yapan tezgâhlardır. İlk perçin tezgâhları bir metre yüksekliğe ve bir ton ağırlığa sahipti. Tezgâhta uçak parçası operatörler tarafından el ile pozisyonlanıyor, bir aydınlatma ışığı yardımıyla markalanmış yüzeyden matkap eksenine çakılacak şekilde delik delme, sızdırmazlık malzemesi sürme ve perçinleme prosesleri gerçekleştiriliyordu [3].

Günümüzdeki otomatik perçin tezgâhlarının boyutları ise 30 metre uzunluğa, 20 metre genişliğe ve 10 metre yüksekliğe kadar çıkabilmektedir. Hidrolik servo teknolojisi, yüksek hızda kesici takımlar, geliştirilmiş mekanik sürücüler, ileri düzey yazılım sistemleri, elektronik komponentler, basitleştirilmiş bağlayıcı besleme sistemleri, geliştirilmiş HMI gibi yeni teknolojilerle birlikte tezgâhların proses kalitesi, hızı ve güvenilirliği artmıştır. Tüm prosesler otomatik olarak yapılmaya başlanmıştır. Böylece daha önce bu proseslerde insan işçiliğine dayanan

yöntemler kullanılırken insan odaklı çalışma en aza indirgenmiş, on kata kadar hızlı, etkin ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmeye başlanmıştır [4].

1.2. Literatür Araştırması

George N. Bullen ve takım arkadaşları, Northrop Grumman şirketinde farklı kalınlıklara sahip kompozit alüminyumdan oluşan sandviç yapıdaki uçak parçalarını delmek ve havşa açmak için mühendislik verilerini Microsoft formatında tezgâh kodlarına dönüştürmüş ve Excel verilerini tezgâh hareketlerini yönetmek için kullanmışlardır. NC programlama komutları adım adım açıklanmış ve önemli komutlar üzerinde ipuçları verilmiştir. Tezgâh parça yüzeyinde normalite yapıp doğru konuma geldiğinde, delme ve havşa açma komutu alt programdan otomatik olarak çağırılarak parça üzerinde sayısı 40.000 adeti aşan delikler hızlı ve sıfıra yakın bir hata ile delinmiştir [5].

Lockheed Martin şirketi F-35 savaş uçağının boya robotları için Delmia çevrimdışı programlama ve simülasyon sistemlerini kullanmıştır [6].

Antoine Bres ve ekibi, Bombardier Havacılık şirketinde F-35 ve F-16 programlarında gövde ve kanat üretimleri için modelleme ve mühendislik çalışmaları yapmış, delik çapı, delik pozisyonu, bağlayıcı tipi, malzeme bilgisi, malzeme kalınlıkları bilgilerini içeren bağlayıcı veri dosyalarını oluşturmuş ve çevrimdışı programlama yöntemleriyle nümerik kontrollü programlar hazırlamıştır. Bu programların robot hareketlerini sağlaması vasıtasıyla sandviç yapılarda otomatik delme işlemlerini yaparak bu işi otomasyona dökmüştür [7].

Nottingham Üniversitesi, Webb ve Eastwood çevrimdışı programlama ve simulasyon sistemleri ile çalışan ve üç adet endüstriyel robottan oluşan yeni bir uçak parçası üretim sistemi oluşturmuşlardır [8].

Boeing şirketi, Broetje otomatik perçin tezgâhı ile C-17 Globemaster askeri kargo uçağı parçalarının üretimi için modifiye edilmiş IGRIP adlı çevrimdışı programlama sistemini kullanmıştır [9].

Boeing şirketi 21.yüzyılın ürünleri için DMAPS programlarını geliştirmekte ve uygulamaya almaktadır. Nitelikli insanlar, ileri düzey yazılım, donanım ve proses simülasyon uygulamaları DMAPS in temelini oluşturur. DMAPS in uygulamaya alınmasındaki en büyük zorluk iki boyut formatındaki teknik resimlerdir. İki boyutlu karmaşık teknik resimlerin en ince detayına kadar anlaşılması zordur. Üretim

alanında iki boyutlu resimlerle bilgilerin doğru ve sağlıklı bir biçimde iletilmesi zaman kayıplarına yol açmakta ve verimi düşürmektedir. Bu nedenle Boeing firması iki boyutlu teknik resimlerden üç boyutlu modellere geçmiş, metin verilerini de grafiksel verilere dökmüştür. Uçak modelleri ve simülasyonlar ile parçaların, montajların, NC programlarının doğrulanması yapılmış, ürün hızlı ve yüksek kalitede üretilirken, olası zaman kayıplarının önüne geçilmiş, maliyetler ciddi oranda düşmüştür [10].

ABB Robotic Şirketi'nden Torgny Brogardh ve Linköping Üniversitesi'nden Henrik Khilman uçak parçaları üretiminde delik delme işlemlerindeki maliyet ve işçiliği azaltmak amacıyla otomatik delme robotu kullanmıştır. Extrapid adlı programlama dili yardımıyla, çevrimdışı programlama sistemi Delmia ile yazdıkları programlarla hazırladıkları test plakaları üzerinde çeşitli denemeler yapmışlar ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir [11].

Chris Wilson, Rob Lloyd, Stuart Barnes ve Steve Banks, BAE Systems, Airbus U.K. şirketinde A340-600 uçağının kanatlarındaki 110.000 adet bağlayıcıyı otomatik olarak yerleştiren düşük voltajlı elektromanyetik perçinleme tezgâhında NC programlama süresini azaltmak ve karmaşık, yoğun çaba gerektiren manuel hesaplamaları elimine etmek için çalışmalar yapmışlardır. A320 ve A340 uçakları tasarım verileri teknik resimlerde bulunan ve üç boyutlu modeli olmayan uçaklardır. Daha önce kanatlardaki tüm bağlayıcı bilgileri teknik resimlerden alınarak düzenleniyor, her bir bağlayıcı için bilgiler hazırlanıp, NC program manuel verilerin işlenmesi ile hazırlanıyordu. Yapılan çalışmada kanatların üç boyutlu modelleri hazırlanmış, bağlayıcı tipi, çapı, boyu, parça kalınlığı gibi bilgileri otomatik olarak oluşturan bir yazılım tasarlanmış, NCfasten adlı program kullanılarak NC programlar oluşturulmuş ve A340-600 uçağının kanatlarının üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle programlama süresi %90, ilk parça denemeleri süresi %85, tasarım değişikliklerinin uygulanma zamanı ise %94 azaltılmıştır [12].

Kanada Ulusal Araştırma Konseyi havacılık endüstrisinde, üretimde maliyeti düşürmek, uçak parçalarının montajını yapmak ve tezgah bakım faaliyetleriyle ilgili prosesleri yürütmek amacıyla otomasyon sistemleri üzerine çalışmalar yapmış, çevrimdışı programlama ve simülasyon sistemlerini, güçlü bir grafiksel ara yüz, üç

boyutlu modeller, kinematik analizler ve gerçek zamanlı bire bir robot hareketleri ile kanat şekillendirme proseslerinde kullanmıştır [13].

1.3. Perçinlerin Tarihçesi

Cıvata ve vida dişinin ilk kullanılmaya başlandığı tarih M.Ö. 400 yılları olarak tahmin edilmektedir. Tarentum (filozof, matematikçi, astronom, devlet adamı)'un zeytin ve üzüm suyunu sıkmaq için dişli bir sistem kullandığı tarihi kayıtlarda belirtilmektedir. Tarentum'un bu çalışmaları sonrasında Arşimet (M.Ö. 287-212) ilk diş prensiplerini oluşturmuştur [14].

Perçinler ise en eski ve güvenilir bağlayıcı çeşitlerinden biridir ve ilk olarak arkeolojik kazılar sonucunda bakır çağında kullanıldığı tespit edilmiştir. Günümüzde bombe başlı olarak anılan, bakır çağından beri kullanılagelen, kenarları birbirinin içine yerleştirilen ve levhaları birbirine tutturmaya yarayan perçinler yumuşak pimlerden oluşmaktaydı.

1830 yılında yapılan demir-çelik gemilerde, ilk kez perçin başına geçecek parçanın düzleştirilmesi uygulama alanı bulmuştur. Nedeni ise gemi gövdesinin suya olan direncini azaltarak hızı arttırmak ve güvertede düzgün yüzey elde etmektir.

Orville ve Wilbur Wright kardeşlerin 1903 yılında resmi olarak uçurduğu ilk uçakta, ilk kez perçinler ve çiviler kullanılmasına rağmen uçağın parçalarının büyük çoğunluğu tahta ve bez ağırlıklı olduğundan yapıstırıcılar perçinlerden daha yoğun kullanılmıştır. Havşa başlı perçinler ilk kez 1922 yılında Paris Havacılık Fuarı'nda sergilenen Bernard C-1 sportif uçağında uygulanmıştı. Havşa başlı perçinler 1922 yılında tanıtılmasına rağmen yoğun ilgi görmemiştir. Sonraki yıllarda Avrupa ve Amerika'da üretilen metal gövdeli uçak parçalarının özellikle dış yüzeyleri hâlâ birbirine, bombe başlı, yüzeyin dışına taşan perçinlerle tutturulmuştu [15].

New York'ta Hall Alüminyum Uçak Şirketi başkanı Charles Ward Hall 1926 yılında ilk olarak uçaklarda havşa başlı perçinin kullanımı patentini almıştır [16].

1930'lu yıllara gelindiğinde uçakların performansı geliştikçe bombeli perçin başlarının yarattığı aerodinamik sürtünme, ekonomik ve askeri performans açılarından kabul edilemez boyutlara ulaştı. Çözüm basitti, perçinler uçağın yüzeyi ile aynı hizada olacaktı. Ancak üreticiler için öğrenilmesi gereken şey, günlük uçak tasarım ve üretimde bu geçişin nasıl sağlanacağı idi. Dışarı taşan perçin başlarının yerine havşa başlı perçinlerin kullanılması, aerodinamik gereklilik sonucunda

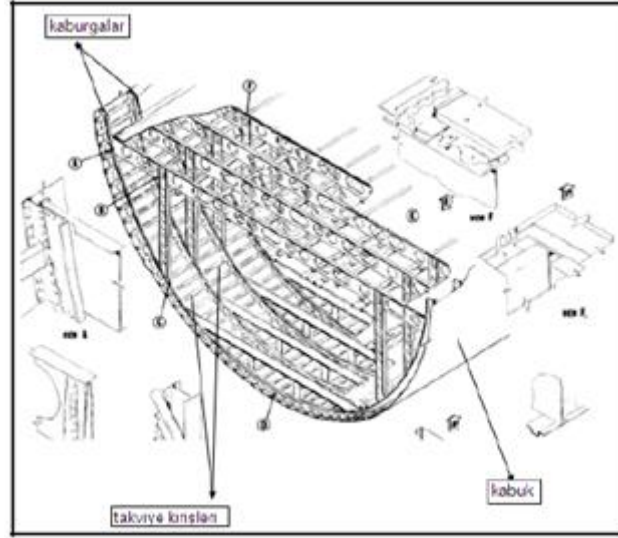
alınmış bir tasarım kararı olmasına karşın, üretim yöntemlerinde ne tür değişiklikler yapılarak istenilen sonuca ulaşılacağı bilinemiyordu. Bu yüzden başlangıçta öncü uygulama doğrudan üretim aşamasında yapıldıktan sonra, zaman içinde Ar-Ge yöntemine dönüldü. Havşa başlı perçin tekniği uçak üretiminde, özellikle çok ince tabakaları tutturmak için önceden hiç kullanılmadığından, bu uygulama için çok geniş çaplı bir deneme yanılma öğrenim sürecinde yeni bilgiler üretilmişti. Havşa başlı perçin tekniğinin dünyada uçak endüstrisinin tümünde, özellikle Avrupa ve Amerika'da eş zamanlı ve yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Başarı ise çok sayıda değişik disiplinlerden gelen mühendis, bilim insanı ve teknikerlerin uzun süreli çabalarıyla sağlanmıştır. 1940'lı yıllara gelindiğinde ise artık tüm uçaklarda, yüzeyle aynı düzeyde olan havşa başlı perçinler kullanılıyordu [17].

N.A.C.A şirketi, Mayıs 1933 yılında Boeing, Lockheed Martin gibi uçak şirketlerinin birbirinden bağımsız yürüttükleri araştırma denemelerine paralel olarak, rüzgâr tüneline havşa başlı perçin deneylerini üniversitelerle koordineli olarak başlattı. Tam ölçekli kanat üzerinde bir inç aralıklarla kanat üzerine yerleştirilen 1/8 inçlik perçinlerin uçak aerodinamiğine etkilerinin araştırılması için tünelde kanat üzerine saatte 40-120 mil aralığında değişken hızlarda rüzgâr testleri yapıldı. Test sonucunda havşa başlı perçinlerde kanat açısı 5 derece olduğunda sürüklenme kuvveti minimum, kanat açısı 19 derece olduğunda ise sürüklenme kuvvetinin maksimum olduğu hesaplandı [18].

Havşa başlı perçin ile gelen yeniliklere, teknoloji ve araştırma-geliştirme çalışmaları sonucunda ortaya çıkan yeni teknolojiler de eklenince uçak tasarımlarında ciddi bir performans artışı görülmüştür.

1.4. Uçaklarda Kullanılan Perçinler ve Çeşitleri

Uçaklarda kullanılan bağlayıcılar, iki veya daha fazla parçayı bir arada tutmak amacıyla kullanılan daimi birleştirme elemanlarıdır. Günümüze ait tipik uçak gövde yapılarında kabuk, takviye kirişleri, kaburgalar ve diğer destek parçalarının montajında perçinler sıklıkla kullanılır.



Şekil 1.3 Günümüze ait tipik uçak gövde yapılarının bölümleri [19]

Perçin bağlantılarının avantajlarını ve dezavantajlarını kısaca açıklarsak;

- Birleştirilecek parçaların delinmesi sebebiyle malzeme mukavemetinin azalması, (Perçinler yüksek kesme ve çekme gerilmelerine dayanıklı olduğundan birleştirilecek parçaların delindiği andaki malzeme mukavemetinin azalması uçak emniyetini etkilemez.)
- Perçinler nedeniyle malzeme israfı ve ağırlık artışı,
- İşçilik yönünden fazla zaman alması, (Otomatik perçin tezgâhlarının kullanımı bu ciddi dezavantajın etkilerini oldukça azaltmıştır.)
- Kaynak bağlantılarında olduğu gibi birleşme yerinde ergime sebebiyle kristal yapıdaki değişimler ortaya çıkmaz.
- Isıl etkilerden dolayı kontrol edilemeyen yüksek iç gerilmeler ve çarpılmalar olmaz.
- Kalite kontrol yöntemleri oldukça basittir.

1.5. Perçinlerin Sınıflandırılması

Perçinler kullandıkları yerlerin özelliklerine göre çeşitli biçim ve tiplerde üretilir. Parçaları sökülemeyecek şekilde sızdırmazlık sağlamak veya sadece bağlamak amacıyla kullanılır. Bunun için perçinler; biçimlerine, yapıldığı gereçlere ve kullanım yerlerine göre sınıflandırılır.



Şekil 1.4 Perçinlerin genel sınıflandırılması [20]

Şekil 1.4' de görüldüğü üzere perçinler kullanım yerlerine göre, malzemelerine göre, biçimlerine göre gibi çok çeşitli dallara ayrılmaktadır. Bu kısımda konumuz olan havacılık endüstrisinde en çok kullanılan başlıca perçin tiplerine değinilecektir. Bu perçin tipleri; universal başlı dolu gövdeli perçinler, havşa başlı dolu gövdeli perçinler, kör perçinler ve hi-lock bağlayıcılarıdır.

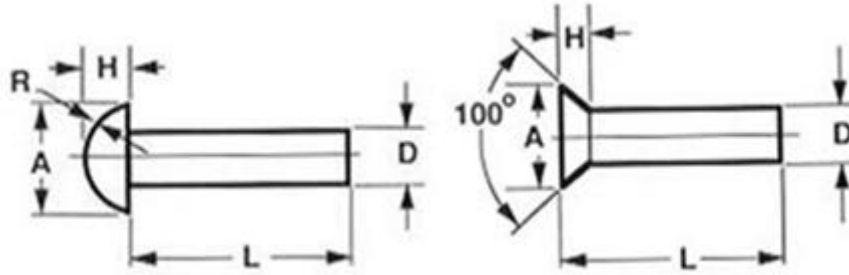
1.5.1. Ünlversal Başlı Perçinler

Baş kısmı montajı yapılan parçaların üzerinde kalacak şekildedir. Aerodinamik açıdan önemli olan yerlerde tercih edilmez. Bu nedenle hava fileleri ile temas

etmeyen, üzerine başka uçak parçalarının geldiği iç yüzeylerde tercih edilir. Kesme ve basma kuvvetlerine karşı dayanımları yüksektir.

1.5.2. Havşa Başlı Perçinler

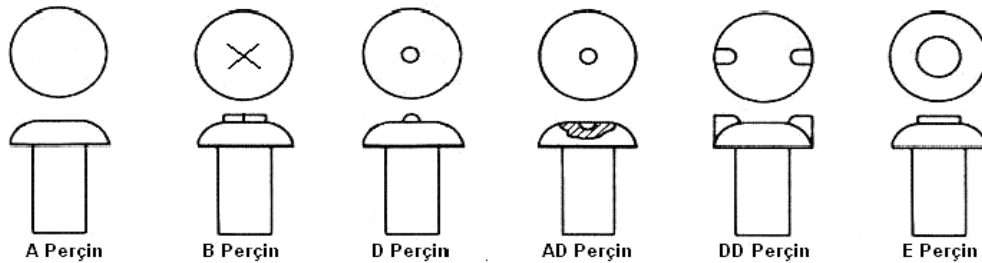
Uçak üretiminde sıklıkla kullanılan havşa başlı dolu gövdeli perçinlerin (KE5-KE6 tip perçinler) havşa açısı 100° olan başının üst kısmı, yüzeyle aynı seviyede olduğu için montajı yapılan parçaların yüzeyinin düzgün olmasını sağlar ve aerodinamik açıdan önemli olan bölgelerde tercih edilir.



Şekil 1.5 Üniversal ve havşa başlı perçin

Uçaklarda kullanılan perçinler, çelikten daha güçlü fakat çelikten daha hafif olmalıdır. Korozyona neden olmamak amacıyla uçak üzerinde kullanılan metallerle birleştirme elemanları aynı cins malzemeden olur. Bu nedenle alüminyumun magnezyum, bakır, çinko ile alaşımları olan perçinler çok kullanılır.

Bunların yanı sıra perçin başlarında çeşitli semboller bulunur. Perçin başlarındaki semboller perçin malzemesinin alaşımını gösterir. Bu alaşımlar harflerle ifade edilir [21].



Şekil 1.6 Perçin başı sembolleri

A Perçin:

Bu tip perçinlerin başında herhangi bir işaret yoktur. Bu perçinler büyük kuvvet gerektirmeyen yerlerde, genellikle küçük anahtar muhafazaları ve kapakları gibi yapısal olmayan alanlarda kullanılır. 1100 kodlu alaşım A harfi ile gösterilir. Yumuşak ve dayanımı yüksek olmayan perçinlerdir.

B Perçin:

5056 kodlu alüminyum-magnezyum alaşımlı bu perçinler B harfi ile gösterilir. Perçin başında (X) şeklinde bir çıkıntı vardır. Bu perçinler korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. Uçak yapısal elemanlarının birleştirilmesinde kullanılırlar.

D Perçin:

2017 kodlu alüminyum-bakır alaşımlı bu perçinlerin baş kısımlarının üstünde dışarıya doğru küçük bir nokta şeklinde çıkıntı vardır. AD perçinine göre daha fazla dayanıklılık ve yüksek kesme kuvveti gerektiren yerlerde kullanılır.

AD Perçin:

2117 kodlu alüminyum-bakır alaşımlı bu perçinlerin baş kısmında içeriye doğru küçük bir delik vardır. Korozyon ve çatlaklara karşı dayanıklı olan bu perçinler kanat kaplamalarında ve aynı zamanda yakıt tankları gibi sızdırmazlık istenen yerlerde kullanılır.

DD Perçin:

2024 kodlu alüminyum-bakır alaşımlı bu perçinlerin baş kısmının üzerinde kabartma şeklinde iki çıkıntı vardır. Montaj perçini olan bu perçinler diğer alüminyum-bakır alaşımlı perçinlere göre çok serttir. Yüksek dayanımlı ve korozyon çatlama karşı üstün bir dirence sahiptir. Uçakların iç ve dış yüzeylerinde kullanılır. Bu perçinler ısıtılıp yumuşatılmadan kullanılmaz.

E Perçinler:

7050 kodlu alüminyum-magnezyum-çinko alaşımı olan bu perçinlerin baş kısmında bir halka vardır. Modern jet uçaklarının kanat ve kuyruk yüzeylerinde kullanılır. DD perçin gibi yüksek dayanımlı ve korozyon çatlama karşı dayanıklıdır.

1.5.3. Hi-lock Perçinler

Yüksek emniyetli bağlama elemanları olan hi-locklar (DAN8-6 tip perçinler), yüksek kesme ve çekme gerilmelerine karşı oldukça dayanıklıdırlar. Gövde ve collar (yüzük) adı verilen iki parçadan oluşur. Universal ve havşa başlı perçinler gibi aerodinamik yüzeylerde ya da iç kısımlarda kullanılmak üzere havşa ve düz başlı olarak üretilirler. Bu perçinler yerlerine sıkı geçme ile takılır. Birleştirilen uçak parçaları arasında boşluk kalmaması gerekir. Delik çapı tolerans değerlerine göre perçin çapından küçük delinir. Bol geçen hi-lock bağlayıcılar istenilen yükü taşıyamaz.



Şekil 1.7 Hi-lok perçin [22]

Çizelge 1.1 Farklı tip perçinlerin karşılaştırılması

Üniversal ve Havşa Başlı Perçinler	Hi-Lock Perçinler
Uygun fiyat	Yüksek fiyat
Hafif	Ağır
Otomasyona uygun	Otomasyona uygun
Yabancı Madde Hasarı Daha Az	Yabancı Madde Hasarı Daha Fazla
Al yapılarıdaki Al malzemeli perçinlerin ıslak montajı uygun değil	Montajı daha kolay
Yorulma ömrü çok daha uzun	Yorulma ömrü daha kısa
Sıvı geçirgenliği oldukça düşük	Sıvı geçirgenliği düşük

Bası yüklerine daha dayanıksız

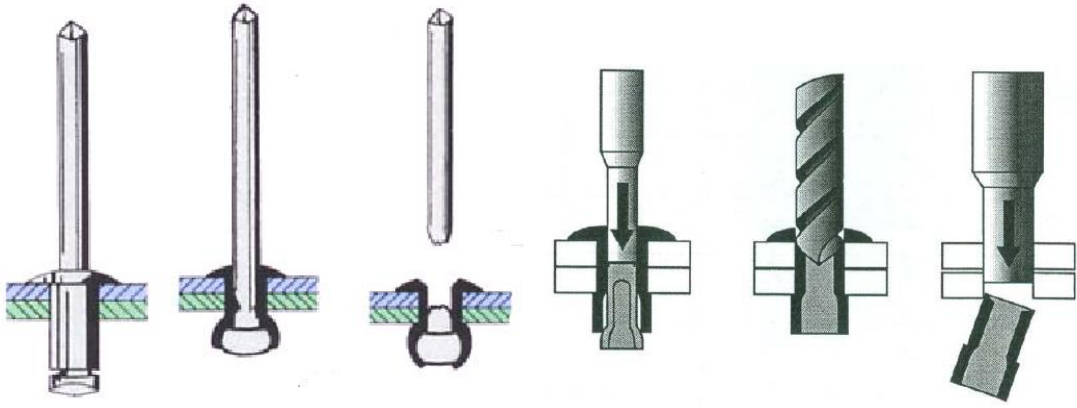
Bası yüklerine daha dayanıklı

Mukavemeti daha az

Mukavemeti daha fazla

1.5.4. Kör Perçinler

Arka tarafına erişilemeyen kapalı bölgelerin onarımında ve dolu gövdeli perçinlerin yerleştirilemediği yerlerde kullanılan perçin tipleridir. Havalı tip mekanik perçin tabancaları kullanılarak montajı yapılır.

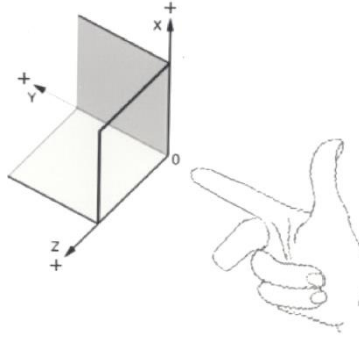


Şekil 1.8 Sırasıyla kör perçin yerleştirilmesi ve sökülmesi [23]

2. DÖNÜŞÜM DENKLEMLERİ VE PERÇİNLEME TEORİSİ

2.1. Dönüşüm Denklemleri

NC program hazırlamak için kullanılan deliklerde mühendislerin birtakım verilere ihtiyacı vardır. Her bir delik verisi delik numarası, delik çapı, delik vektörü (X, Y, Z pozisyonu), delik açısı (yüzeye dik I, J, K) gibi bilgiler içerir. Mühendisler tarafından tezgah hareketleri ve pozisyonlarını hesaplamak için X, Y, Z ve I, J, K kartezyen koordinatları kullanılır.



Şekil 2.1 Kartezyen koordinat sistemi

Pozisyon ve konumlandırma kartezyen koordinatlarda bir yeri tanımlamak için ihtiyaç duyulan bilgilerdir. Dört vektör seti ihtiyaç duyulan bu bilgileri sağlar. {A} koordinat sisteminde A pozisyon, B ise 3 x 1 pozisyon vektörüdür. Buna göre pozisyon;

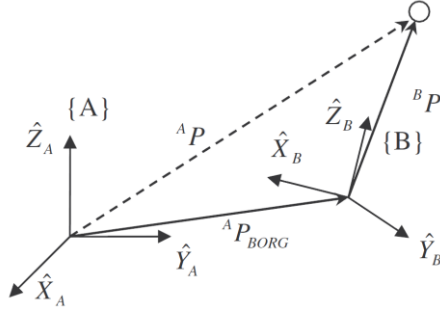
$${}^A P = \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

{A} koordinat sistemine göre, B oryantasyonu 3 x 3 matris şeklinde tanımlanır;

$${}^A_B R = [{}^A X_B \quad {}^A Y_B \quad {}^A Z_B] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

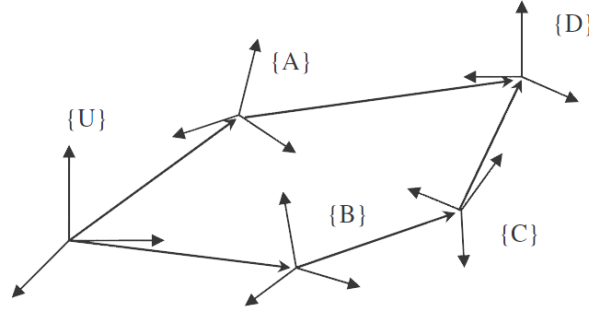
Bir noktanın bir koordinat sisteminden diğer koordinat sistemine transferi homojen dönüşüm adı verilen 4 x 4 matris ile çarpılması ile sağlanır. Örneğin {B} koordinat sistemindeki P noktası, {A} koordinat sisteminde tanımlanır, {B} den {A} ya transfer;

$${}^A P = {}^A_B R {}^B P + {}^A P_{borg} \quad (2.3)$$



Şekil 2.2 Vektörün genel transformu [1]

Şekil 2.2' de gösterilen ${}^A P_{borg}$ A ve B arasındaki dönüşümsel uzaklık, ${}^B P$ B noktasındaki rotasyona eklenmiştir. Bu çıkarıma dayanarak {A} dan {B} ye transfer aşağıda ${}^A_B T$ şeklinde tanımlanmıştır.



Şekil 2.3 Transform döngüsü [1]

Şekil 2.3 transform döngüsünü göstermektedir. {U} dan {A} ya gidebilmenin iki yolu vardır. Birincisi;

$${}^U_D T = {}^U_A T {}^A_D T \quad (2.4)$$

Aynı şekilde ikincisi ise;

$${}^U_D T = {}^U_B T {}^B_C T {}^C_D T \quad (2.5)$$

${}^U_D T$ açıklamasını içeren (2.4) ve (2.5) denklemlerini eşitlersek;

$${}^U_A T {}^A_D T = {}^U_B T {}^B_C T {}^C_D T \quad (2.6)$$

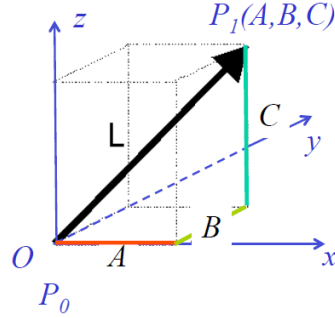
Transform matrisinin tersini almak, transform yönünü değiştirmektir. Buna göre;

$${}^A_B T^{-1} = {}^B_A T \quad (2.7)$$

Matris tersi alınarak, transform denklemleri çözülmektedir. ${}^B_C T$ örneğini ele alırsak ters matris kullanılarak yapılan çözüm için;

$${}^B C T = {}^B U T^{-1} {}^U A T {}^A D T {}^A C T {}^A D T^{-1} \quad (2.8)$$

bağıntısı yazılır.



Şekil 2.4 Vektör koordinat eksenleri

Kartezyen koordinat sisteminde P_0 noktası orijin noktasına taşındığında yer değiştirme;

$$P_0 = [x_0 \ y_0 \ z_0]^T \quad (2.9)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -x_0 \\ 0 & 1 & 0 & -y_0 \\ 0 & 0 & 1 & -z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Tersine yer değiştirme ise aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$[D]^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & 0 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 & z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Şekil 2.4' deki L uzunluğunda P_0 -P vektörünü ele alırsak bu vektörün uzunluğu;

$$L = \sqrt{A^2 + B^2 + C^2} \quad (2.12)$$

P_0 -P vektörünün BC düzlemi üzerindeki iz düşümüne V dersek;

$$V = \sqrt{B^2 + C^2} \quad (2.13)$$

V vektörünün z eksenini ile yaptığı açı θ_1 olarak tanımlanırsa;

$$\sin \theta_1 = B/V \quad (2.14)$$

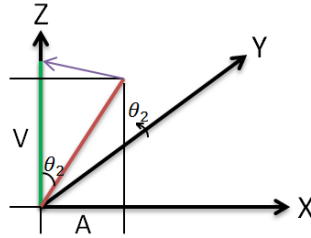
$$\cos \theta_1 = C/V \quad (2.15)$$

V vektörü x eksenini etrafında saat yönünün tersine, pozitif yönde döndürülerek x-z düzleminde iz düşümü alınır;

$$[R_x] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 \\ 0 & \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C/V & -B/V & 0 \\ 0 & B/V & C/V & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

V vektörü x eksenini etrafında saat yönünde, negatif yönde döndürülerek x-z düzleminde tersi, iz düşümü alınır;

$$[R_x]^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_1 & \sin \theta_1 & 0 \\ 0 & -\sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C/V & B/V & 0 \\ 0 & -B/V & C/V & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$



Şekil 2.5 Y eksenini etrafında vektör hareketi

L uzunluğundaki vektörün z eksenini ile yaptığı açı θ_2 olarak tanımlanır;

$$\sin \theta_2 = -A/L \quad (2.18)$$

$$\cos \theta_2 = V/L \quad (2.19)$$

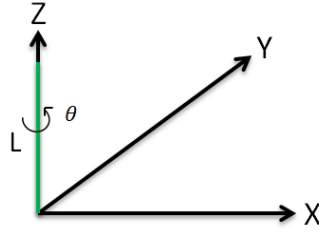
Vektör y eksenini etrafında saat yönünün tersi, pozitif yönde döndürülerek Şekil 2.5' deki gibi z eksenine taşınır;

$$[R_y] = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & 0 & \sin \theta_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta_2 & 0 & \cos \theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V/L & 0 & -A/L & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ A/L & 0 & V/L & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Vektör y eksenini etrafında saat yönünde, negatif yönde döndürülerek z eksenine taşınır;

$$[R_y] = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & 0 & -\sin \theta_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_2 & 0 & \cos \theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V/L & 0 & A/L & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -A/L & 0 & V/L & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

olarak hesaplanır.



Şekil 2.6 Z eksenini etrafında vektör hareketi

Vektör z eksenini etrafında saat yönünün tersi, pozitif yönde Şekil 2.6'daki gibi döndürülürse;

$$[R_z] = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Tüm bu bilgiler doğrultusunda toplam dönüşüm;

$$[T] = [D]^{-1} [R_x]^{-1} [R_y]^{-1} [R_z^\theta] [R_y] [R_x] [D] \quad (2.23)$$

$$P_1 = [T] P_0 \quad (2.24)$$

olarak hesaplanır [24].

2.2. Perçinleme Teorisi

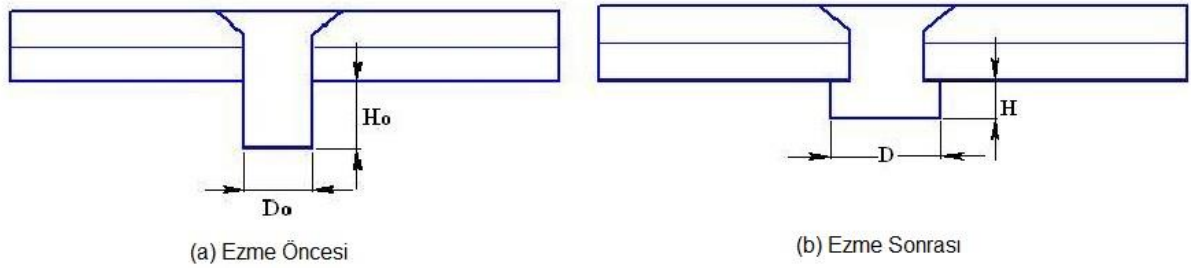
Ezme kuvveti ve perçin başı ölçüleri arasındaki deneysel bağıntıların elde edilmesi oldukça zordur. Çünkü perçinleme prosesi yüksek derecede, doğrusal olmayan şekillendirme prosesidir ve prosesin içinde varyasyonlar vardır. Yine de perçinleme prosesinde perçin malzemesinin delik içerisine akmadığı ve ezilen tüm malzemenin düğme yüksekliği oluşturduğu varsayımına dayanarak teorik bir bağıntı elde edilebilir.

Şekil 2.7' de görüldüğü üzere (a) ezme öncesi perçin gövdesi parçalarının dışarısında iken ilk hacme V_0 denilirse;

$$V_0 = \frac{1}{4} \pi D_0^2 H_0 \quad (2.25)$$

Benzer şekilde (b) ezme sonrası perçin gövdesi silindir şeklini aldığı zamandaki son hacme V denilirse;

$$V = \frac{1}{4} \pi D^2 H \quad (2.26)$$



Şekil 2.7 Perçin deformasyon geometrisi [25]

İdeal durumda, delik içindeki hacim değişimi de ihmal edildiğinde $V_0/V = 1$, buna göre (2.25) ve (2.26) denklemlerinden;

$$\frac{\frac{1}{4} \pi D_0^2 H_0}{\frac{1}{4} \pi D^2 H} = 1 \quad (2.27)$$

$$\text{veya, } H/H_0 = (D/D_0)^2 \quad (2.28)$$

Ezme gerilmesi σ_{sq} , deformasyon alanındaki gerçek gerilmedir ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sigma_{sq} = \frac{F_{sq}}{\frac{1}{4} \pi D^2} \quad (2.29)$$

İdeal durum için ezme sonrası perçin gövdesi silindirik şeklini aldığı zaman, ilk ve son hacim eşittir. Dolayısıyla x, y ve z yönlerindeki toplam gerinim yazılırsa;

$$\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = 0 \quad (2.30)$$

Üniform basma gerilmesinde, y yönündeki dikey gerçek gerinim olan ε_y ;

$$\varepsilon_y = \ln\left(\frac{H}{H_0}\right) = \ln\left(\frac{D}{D_0}\right)^2 \quad (2.31)$$

Perçin ezme sonrası oluşan gerçek gerilim plastisite kanuna göre hesaplanırsa;

$$\sigma_{sq} = K(\varepsilon_y)^n \quad (2.32)$$

K mukavemet katsayısı ve n perçin malzemesinin gerinim sertleşmesi üsteli olmak üzere (2.29) ve (2.32) denklemlerinden;

$$\sigma_{sq} = K(\varepsilon_y)^n = \frac{F_{sq}}{1/4\pi D^2} \quad (2.33)$$

(2.31) ve (2.33) denklemlerinden;

$$\sigma_{sq} = K[\ln\left(\frac{H}{H_0}\right)]^n = K[\ln\left(\frac{D}{D_0}\right)^2]^n = \frac{F_{sq}}{1/4\pi D^2} \quad (2.34)$$

$$\text{ya da, } F_{sq} = 1/4 \pi D^2 K [\ln\left(\frac{D}{D_0}\right)^2]^n \quad (2.35)$$

$$\text{ya da, } F_{sq} = 1/4 \pi D^2 K [\ln\left(\frac{H}{H_0}\right)]^n \quad (2.36)$$

(2.35) ve (2.36) denklemleri perçinleme prosesinde perçin malzemesinin delik içerisine akmadığı ideal durumdaki uygulanan ezme kuvveti, ezilen perçin başı çapı (D) ve perçin başına ait yükseklik (H) arasındaki bağıntıyı vermektedir [25].

3. OTOMASYON TEZGÂH SİSTEMLERİ VE UYGULAMALARI

3.1. Otomasyon Tezgâhlarına Genel Bakış

Otomasyon tezgâhları üretim sürecinde insan eliyle uzun zamanda yapılan işleri hızlı, seri ve hatasız şekilde gerçekleştiren tezgâhlardır. Bu tezgâhlardan daha fazla ürün, daha kısa sürede üretilmekte, ürünlerin üzerinde müşteri istek ve beklentileri doğrultusunda daha kolay değişiklikler yapılabilmektedir. Dönüştürme ve dengeleme maliyetleri üretim otomasyon çözümlerini kullanmak için iyi nedenlerden biridir. Çünkü üretim sisteminin otomasyonu ile birlikte atıl kapasite oranı düşer ve üretim süreci daha iyi bir şekilde işler. Bu durum ürün maliyetlerinin düşmesini ve tutarlı olmasını sağlar. Bu gelişim ve tutarlılık, ürün kalitesine de yansır [26].

Bu bölümde havacılık endüstrisinde kullanılan, seri biçimde delme ve perçinleme işlemlerini yapan son teknoloji ürünü özel otomasyon tezgâhları hakkında bilgiler verilmiştir.

3.2. Otomatik Perçin Tezgâhları

Otomatik perçin tezgâhları uçak panelleri üzerinde takılacak olan bağlayıcıları yerleştiren veya delik delme işlemlerini otomatik olarak sayısal kodlar kullanarak yapan tezgâhlardır.

Otomatik perçin tezgâhlarının tasarım temelleri bağlayıcılar, perçinleme ekipmanları ve montaj tekniklerindeki gelişmeler nedeniyle farklı bir boyut kazanmıştır. Başlangıçta sadece üniversal ve havşa başlı perçinler otomatik olarak yerleştirilirken modern otomatik perçin tezgâhlarıyla hi-lock perçinler ve özel perçinler de bu tezgâhların kabiliyet alanına girmiştir. Ayrıca alt montajlar, büyük uçak gövde panelleri, kanatların montajı da kolaylıkla yapılabilmektedir [3].

Havacılık endüstrisinde uçak parçaları için kullanılan mevcut otomatik montaj tezgâhları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

Tezgâh şekline göre;

- C Frame Perçin Tezgâhı
- Gantry Perçin Tezgâhı
- Elektromanyetik Perçin Tezgâhı
- Yoke Perçin Tezgâhı
- Bridge Perçin Tezgâhı

➤ Ring Perçin Tezgâhı

Uygulamaya göre;

- Gövde Panel Perçin Tezgâhı
- Yarı Gövde Panel Perçin Tezgâhı
- Frame-Sheartie Perçin Tezgâhı
- Kanat Delme ve Perçinleme Tezgâhı
- Nacelle Perçin Tezgâhı
- Ramp Door Perçin Tezgâhı

Eksen sayısına göre;

Tezgâh hareketleri ilk zamanlarda iki eksende kontrol edilirken teknolojik gelişmelerle birlikte hareket kontrolleri 12 (ve üzeri) eksene kadar çıkarılmıştır.

Aşağıdaki bölümde yukarıda kategorilerde gruplara ayrılan tezgâhlar hakkında örnekler verilmiştir.

3.2.1. C Frame Perçin Tezgâhı

Tez çalışmasında NC programları hazırlanan üç tezgâhtan iki adeti C frame perçinleme tezgahıdır. Bu tezgâhlar hızlı, seri, OLP sistemleri ve simülasyonlar sayesinde de neredeyse hatasız çalışır fakat oldukça hacimlidir ve büyük bir çalışma alanı kaplar. Uçak panellerinde kabuk, takviye kirişleri, kaburgalar ve diğer destek parçaların montajının otomatik olarak yapılmasını sağlar. Delik delme, havşa açma, sızdırmazlık malzemesi sürme, perçin başı ezme, ölçüm ve kontroller için kullanılır. Siemens veya Fanuc kontrol sistemini kullanan bu tezgahların genellikle sensörleri kapalı iken düz plaka üzerinde proses çevrimi 15 perçin/dk adet, sensörler açık iken uçak paneli üzerinde 6-8 perçin/dakika'dır. C frame perçin tezgâhları malzemeler ve aksesuarlar bölümünde anlatılan tüm teknolojik özelliklere ve fonksiyonlara sahiptirler.



Şekil 3.1 C-Frame otomatik perçin tezgâhı [27]

3.2.2. Gantry Perçin Tezgâhı

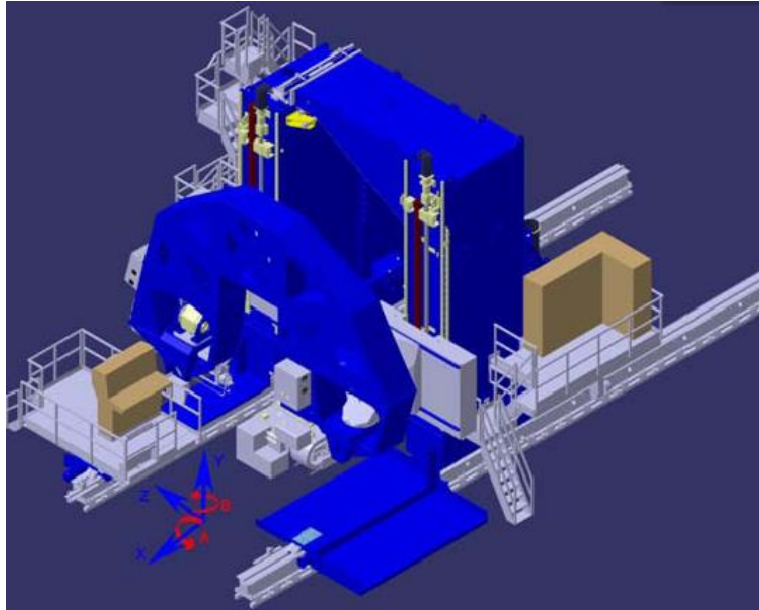
Gantry perçin tezgâhları adını üzerine kubbe tarzı kapanan çelik konstrüksiyondan alır. Tez çalışmasında NC programları yazılan üç adet tezgâhtan biri Gantry sistem perçin tezgâhıdır. Delme, havşa açma, sızdırmazlık malzemesi sürme, perçin yerleştirme, perçin ezme, havşa yüksekliği ölçümü gibi birçok fonksiyonu bünyesinde barındırır. Perçin çevrim zamanı 17 perçin/dakika olan (tüm sensörler kapalı ve düz plaka üzerinde) tezgâhın yükleme boşaltma zamanı ise 10-15 dakika arasındadır. Tüm hareketleri 12 eksen ile kontrol edilen tam otomatik CNC kontrollü bu tezgâh Siemens 840D dijital kontrol sistemini kullanır. Tezgâhta ayrıca yüksek hızlı (20000 rpm) çakı, otomatik çakı ve perçin parmak değiştirici, çakı için mikro yağlama sistemi, sızdırmazlık elemanı uygulama sistemi için kontrolör, normalite sensörleri, referans delik algılama gibi birçok teknolojik sistem bulunur.



Şekil 3.2 Brötje-iGantry perçin tezgâhı [28]

3.2.3. Yoke Perçin Tezgâhı

Gantry perçin tezgâhlarının bir uyarlaması olan Yoke Perçin tezgâhı dünyanın en büyük yolcu uçağı olan A380 uçağının kanatlarının montajını yapmak için üretilmiştir. Tezgâh yatay ekseninde esnek, ihtiyaca göre uzatılabilen ve dikey ekseninde ise 4 m olan geniş bir çalışma aralığına sahiptir. Şekil 3.3'de görüldüğü üzere A ve B açıları $\pm 15^\circ$ 'dir [29].

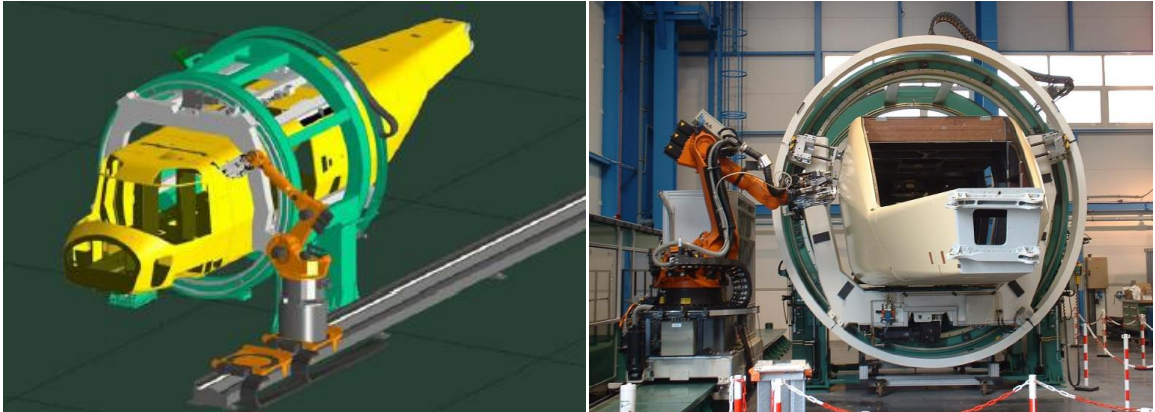


Şekil 3.3 Yoke perçin tezgâhı [29]

Yerleştirilmesi gereken tüm perçinlere altı eksen kullanılarak ulaşılır. Bu da sensörler ya da takip cihazı olmadan tezgâhın tam otomatik olarak çalıştığını gösterir. Fanuc 15i kontrol sistemini kullanan bu tezgâhta standart G kodu makrolarla çalışan program kullanılır. Elektromanyetik perçin tezgâhları da bu tezgâhlarla aynı çalışma prensibine sahiptir. Kanat tezgâhlarında daha sık kullanılır. Farkı ise perçin ezme işleminin elektromanyetik kuvvetle (mıknatıs ile) yapılmasıdır.

3.2.4. Gövde Panel Perçin Tezgâhı

Altı eksene sahip CORA robotları uçak ve helikopter gövde panellerinin 360° açıyla montajını yapabilmektedir. Bu robotların avantajları; çok amaçlı robot uç kısmı, tek proseste hem delme hem de perçinleme işlemlerini yapabilmesi, 360° açıyla parçalara ulaşabilmesi, çevrimiçi (anlık) kalınlık ölçümleri, vinç ihtiyacının olmaması ve her türlü gövdeye uyarlanabilmesidir.

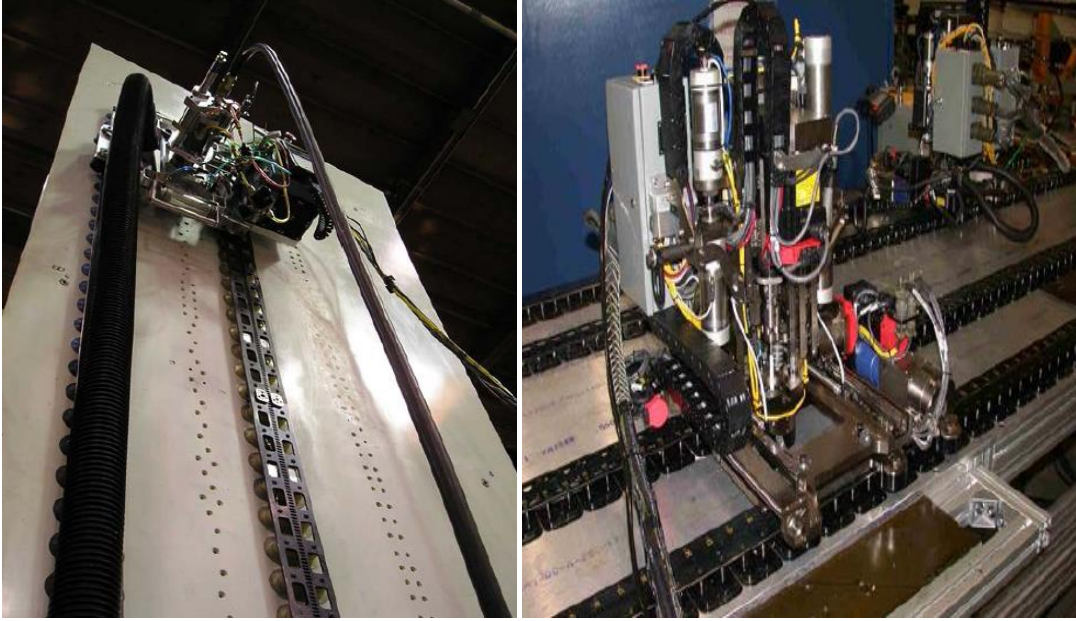


Şekil 3.4 CORA robotu [30]

3.2.5. Flex Track Tezgâhı

Yarı gövde perçin tezgâhları grubuna örnek verebileceğimiz Flex Track tezgâhları uçak parçaları üzerinde otomatik olarak delme ve perçinleme işlemlerini yapan hafif ve taşınabilir tezgâhlardır. Bu tezgâhların en önemli özelliği beş eksenli tezgâhların yaptığı işi üç eksende yapabilmesi sayesinde büyük tezgâhlarla rekabet edebilmesidir. Uçak kanatları montajında ya da uçak gövdelerini birleştirmek amacıyla kullanılır. Konturlu yüzey üzerine yerleştirilmiş raylarda hareket eder. Bu raylar hava ile çalışan yüzlerce vakumlu kaptan oluşur. Raylar üzerinde hareket ederken, normalite sensörleri sayesinde de her zaman yüzeye

dik bir biçimde delik delme, deliklerden referans alma, delik kalitesini kontrol etme, perçin taşıma ve yerleştirme gibi işlemleri hızlı ve doğru bir biçimde gerçekleştirir.

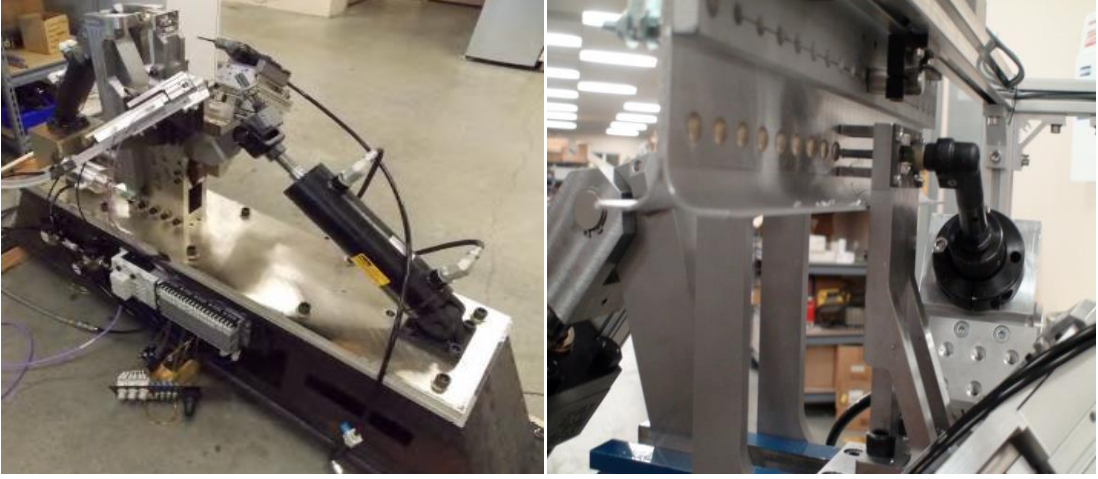


Şekil 3.5 Flex Track tezgâhları [31]

Flex Track tezgâhları Fanuc 31i CNC adı verilen kontrol sistemini kullanır. Bu kontrol sistemi tezgâhın tüm hareketlerini, eksenlerini ve servo motorları kontrol eder. NC program hazırlamak için CAD sistemlerine aktarılan bağlayıcı koordinat bilgileri Excel tabanında csv uzantılı dosya olarak kaydedilir. Kaydedilen dosyalar tezgâha aktarılarak tezgâh operatör ara yüzünde NC program oluşturulur.

3.2.6. Frame-Clip Perçin Tezgâhı

Frame Shear-tie perçin tezgâhları grubuna giren Frame-Clip perçin tezgâhı 3.97mm (5/32 inç) ve 4.6mm (3/16 inç) üniversal başlı alüminyum perçinler kullanılarak uçak kaburgalarıyla klipslerin montajının otomatik olarak yapılabilmesi üretilmiştir. Bu tezgâh delme, perçin yerleştirme ve perçin ezme işlemlerini gerçekleştirir. Kuka robot kolunun kullanıldığı tezgâhta oldukça ucuz ve ultra hafif tasarıma sahip uç kısım yaklaşık 300 kilogramdır.



Şekil 3.6 Frame-Clip perçinleme tezgâhı [32]

Şekil 3.6'da görülen tezgâhta perçinler besleme hunisinden plastik borular vasıtasıyla pnömatik olarak beslenir. Yaylı kol beslenen perçini tutar ve tezgâhın parmaklarına iletir. Çakı delinecek kısımda delme işlemini yapar, tezgâh parmaklarını perçini deliğe yerleştirir ve arka tarafta bulunan bir pnömatik bir kol yardımıyla anvil perçin ucunu ezerek montaj işlemini sonlandırır. Her perçinde bu işlemler tekrarlanır.

3.2.7. Kanat Delme ve Perçinleme Tezgâhları

Beş eksenli, raylar üzerinde hareket eden CAWDE karbon fiber, alüminyum, titanyum malzemelerinden oluşan sandviç kanat yapılarını delme ve havşa açmak amacıyla kullanılan tam otomatik CNC kontrollü bir tezgâhtır. Fanuc 31i CNC adı verilen kontrol sistemini kullanır. 30m x 5m x 1m boyutlarındaki bu tezgâh delme öncesinde el ile yerleştirilen bağlayıcıların kontrolünü yapabilen, 1/4" ve 5/8" çapındaki bağlayıcılar için delik delen ve delik ölçümü yapabilen bir tezgâhtır.



Şekil 3.7 CAWDE tezgâhı [33]

3.2.8. Nacelle Perçin Tezgâhı

Bir uçağın kanadında bulunan ve motorları ihtiva eden kapalı kısımların montajı için özel olarak tasarlanan bir tezgâhtır. Bu tezgâhlar kompozit, alüminyum, paslanmaz çelik, titanyum ve inconel gibi farklı malzemelerle çalışma kabiliyetine sahiptir. Yarı otomatik ve tam otomatik CNC sistemine sahiptir. Boynuz şeklindeki anvil sayesinde dar alanlara kolayca erişim sağlanır. Çift taraflı havşa açma özelliğine sahiptir.



Şekil 3.8 Nacelle perçin tezgâhı [34]

3.2.9. Ramp Door Perçin Tezgâhı

Uçak kapılarının yapısal elemanlarının montajı için otomatik ve yarı otomatik olarak tasarlanıp üretilen tezgâhlardır. Dar bölgelere erişim konusunda kabiliyetlidir. Kapı üreticileri için diğer tezgâhlara göre uygun fiyatı ve performansı ile tercih edilir. Fanuc kontrol sistemini kullanan bu tezgâhın her bir parçası ayrı bir programa sahiptir. CENIT çevrimdışı programlama yazılımını kullanır. Program komutları diğer tezgâhlarda olduğu gibi gerekli delme ve perçinleme operasyonlarını tetikler. Tezgâhta aktif panel koruyucusu, temassız normalite sensörleri, çakı kırılma tespit sistemi bulunmaktadır.



Şekil 3.9 Ramp door perçin tezgâhı [35]

3.3. Otomatik Perçin Tezgâhları Sistem, Aksesuar ve Ekipmanları

Bu bölümde otomatik perçin tezgâhlarını temel olarak oluşturan kısımlardan, sistemlerden, ekipman ve aksesuarlardan kısaca bahsedilmiştir.

3.3.1. Üst Perçinleme Kafası

Otomatik perçin tezgâhlarının teknoloji ve uygulama açısından en karmaşık, maliyeti en yüksek kısmıdır. Mesafe ve normalite sensörleri, basınçlı üst baskı plakası, çakı ünitesi, sızdırmazlık malzemesi besleme ünitesi, çakı ve üst anvil değiştirme sistemi, perçin yerleştirme sistemi, perçin delik tespit sistemi, vakumlu talaş çekme ünitesi gibi birçok hayati fonksiyonu bünyesinde barındırır. Üst

perçinleme kafasının bu teknolojik sistemleri ve üniteleri sayesinde NC programdan alınan veriler, kontrol sistemiyle entegre olarak perçinleme işlemleri kusursuz gerçekleştirilir.

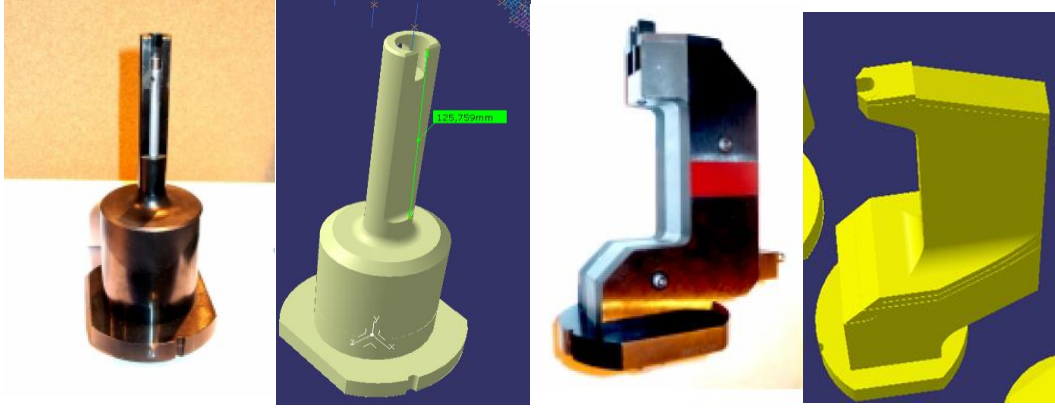


Şekil 3.10 Üst perçinleme kafası [36]

3.3.2. Anviller (Alt Perçinleme Kafası)

Anviller tezgâhın en kritik ve en önemli parçalarından biridir. Anviller delme, sızdırmazlık malzemesi sürme, perçin yerleştirme ve perçin ezme proseslerinde parça yüzeyine dik olarak uyguladığı kuvvet sayesinde montajı yapılacak parçalar arasına talaş girmesini engeller, universal tip perçinlerde içindeki pnömatik hareketli sistem sayesinde perçin ezmeyi sağlar. Farklı perçin tipleri, farklı çaptaki delikler, uçak parçası üzerindeki geometri anvil kullanımını etkiler. Bu durumlara bağlı olarak farklı anviller kullanılır. Tezgâhta kullanılan anvil çeşitleri şunlardır:

- 5/32 “ Ofset Ezici Anvil (Universal Tip Perçinler için)
- 3/16 “ Ofset Ezici Anvil (Universal Tip Perçinler için)
- 5/32 “ Düz Ezici Anvil (Universal Tip Perçinler için)
- 3/16 “ Düz Ezici Anvil (Universal Tip Perçinler için)
- Ofset Delici Anvil (Hi-lok Tip Perçinler için)
- Düz Delici Anvil (Hi-lok Tip Perçinler için)



Şekil 3.11 Sırasıyla düz ve ofset anvil örnekleri

3.3.3. Operatör Kontrol Paneli

Operatörlerin tezgâh ile gerçekleştirdiği işlemlerin tümü Şekil 3.12’de görülen operatör kontrol paneli aracılığıyla gerçekleştirilir. NC programdan alınan veriler doğrultusunda montaj prosesleri gerçekleştirilirken operatörün yapması gereken işlemler (referans delik takibi, anvil değiştirme, tezgâh ayarları gibi) operatör kontrol ekranlarında gösterilir. Operatör tezgâh hızını, anlık tezgâh koordinatlarını, normalite sensörlerinin durumunu, hangi tip perçin çakılacağı, referans delikleri ve diğer işlemleri takip eder.

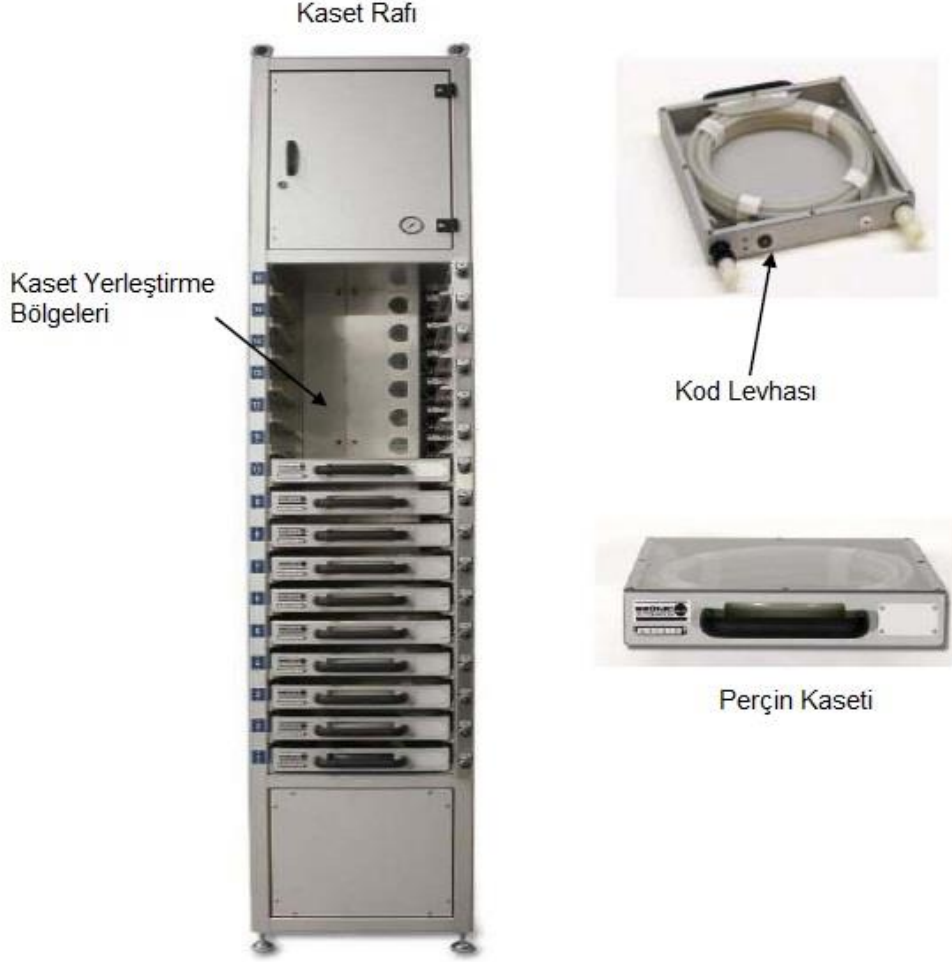


Şekil 3.12 Operatör kontrol paneli

3.3.4. Perçin Besleme Sistemi

Perçin besleme sistemi, kaset rafı, kaset yerleştirme bölgeleri, perçin kasetleri ve kod levhasından oluşan, NC programdan alınan veriler doğrultusunda prosese uygun tipte ve boydaki perçini, tezgâhın üst perçinleme kafasına ileten sistemdir. Perçin tezgahlarında panel montajına başlamadan önce proses adımları önceden belirlendiği için operatörler tarafından tezgah ayarları yapılırken perçin kasetleri de

prosesse uygun perçinlerle doldurulur. Perçin rafına yerleştirilen kaset sayısı 24 adete kadar çıkabilir. Her bir kaset içinde perçin boyuna göre 800-1500 adet perçin bulunur.



Şekil 3.13 Perçin besleme ünitesi ve perçin kasetleri [36]

3.3.5. Kenar Mesafe İzleyici

Kenar mesafe izleyici aygıtları alt anvilin döner tablasına yerleştirilir ve takviye kirişleri boyunca bağlayıcıların aynı hat üzerinde yerleştirilmesini sağlar. Takviye kirişlerinin yanal yüzeyinden anvili 10 mm öteleyerek hep aynı mesafede prosesin yapılması mantığıyla çalışır. Referans deliklerde sıfırlanan koordinatlara yardımcı olarak görev yapar.



Şekil 3.14 Kenar mesafe izleyici cihazı

3.3.6. Referans Delik Tespit Sistemi

Uçak panelindeki yapısal elemanların perçin tezgâhında geçici olarak tutturulmasını sağlayan referans delikler tezgâhta kameralı referans delik sistemiyle tespit edilir. Kamera sisteminin aldığı görüntü tezgâhın kontrol sistemindeki binlerce görüntüyle eşleştirilir, birbirine geometrik olarak en çok benzeyen görüntü eşleştirmesi yapılarak tezgâh referans deliğinin merkezine doğru hareket eder böylece perçinler hizalı bir biçimde, belirli bir doğrultuda yerleştirilerek sapmalar minimize edilir.



Şekil 3.15 Referans delik tespit monitörü

3.3.7. Sızdırmazlık Malzemesi Besleme Ünitesi

Her perçin için delme ve havşa açma prosesleri sonrasında havşa ağzına dört taraftan limitlere göre belirli miktarlarda sızdırmazlık malzemesi besler.

3.3.8. Vakumlu Talaş Çekme Ünitesi

Panelde veya test plakalarında delme sonrası oluşan talaşları ve talaş partiküllerini vakum sistemiyle toplar.

3.3.9. Kırılan-Eksik Çakı Dedektörü

Delme operasyonları öncesinde fotoelektrik döngü komutları eksik veya kırılan çakıyı tespit eder, prosesi otomatik olarak durdurur, tezgâhın ve parçanın zarar görmesini engeller.

3.3.10. Kayıp Perçin Dedektörü

Delme operasyonları öncesinde fotoelektrik döngü komutları tezgâhın üst kısmındaki perçin parmaklarının boş olduğu durumlarda bu durumu tespit eder, prosesi durdurur. Tezgâhın boşa hareket etmesini engeller.

3.3.11. Yağlama Ünitesi

Delme sırasında çakının soğuması için sis biçiminde yağ püskürtür.

3.3.12. Tezgâh Proses Sayacı

Tezgâh proses zamanlarını, sayılarını gösterir ve kaydeder.

3.3.13. Talaş Uzaklaştırıcısı

Delme esnasında uçak yüzeyinde baskı plakası etrafında oluşan metal partikülleri uzaklaştırır.

3.3.14. Video Monitör Sistemi

Tezgâh çalışırken operatörün çeşitli açılardan tezgâhı ve prosesleri monitör sistemleriyle takip etmesine imkân verir.

3.3.15. Normalite Sensörleri

Tezgâhta perçinleme proseslerinin düzgün yapılabilmesi için çakıların, perçin sistemlerinin, perçinlerin ve anvilin uçak yüzeyine dik olması gerekir. Tezgâhın üst kısmında genellikle dört adet bulunan normalite sensörleri tezgâh eksenlerini koordine ederek konturlu uçak yüzeyinin takip edilmesini sağlar.

3.3.16. Uçak Parçası Pozisyonlama Sistemi

Uçak parçasını perçinleme prosesleri için tezgâh koordinatlarını düzenleyerek uygun pozisyona getirir.

3.3.17. Kontrol Göstergeleri

Sistem parametrelerini, gösterge durumlarını, hata ve uyarı mesajlarını gösterir.

3.3.18. Delik-Havşa Ölçüm Problemleri

Delme ve havşa açma prosesleri tamamlandıktan sonra deliklerin ve yerleştirilen perçinlerin havşa yüksekliklerini ölçerek hafızasındaki değerle karşılaştırır, bu değerler uyumsuzluk gösterirse tezgâhı durdurarak uyarı verir. Operatör delik ve havşa ayarlarını tekrar yaparak ölçüm değerlerinin limitler içerisinde olmasını sağlar. Uyarı mesajları elimine edilir.

4. MANUEL VE OTOMATİK PERÇİNLEME

Otomatik perçinleme manüel perçinlemeye göre işçilik, zaman kazancı, kalite, kullanılan takım sayısı ve ergonomi açısından oldukça avantajlıdır. Çizelge 4.1' de otomatik perçinlemede işçilik kazancı gösterilmiştir. Manüel perçinlemeye göre perçin başına sağlanan kazanç 1.23 \$ olarak hesaplanmıştır. Siparişlerin giderek artması ve panelde perçin miktarının fazlalığı göz önünde bulundurulduğunda otomatik perçinleme ile işçilikten oldukça yüksek kazanç sağlanacaktır.

Çizelge 4.1 Otomatik perçinlemede işçilik kazancı

	Manuel	Otomatik
Zaman	0,5 adet/ dk 30 adet/ saat	7 adet/ dk 420 adet/ saat
Ekipman, enerji vs.	40 \$ $40/30=1,33$	40 \$ $40/420=0,1$
	$1,33-0,1 = \underline{\underline{1,23 \$}}$	

Otomatik perçinleme proses, makine, üretim metodu ve tasarıma hakim olmayı gerektirir. Bu kısımda manuel ve otomatik perçinleme ile ilgili temel karşılaştırmalar yapılmıştır.

Manuel perçinleme proses adımları;

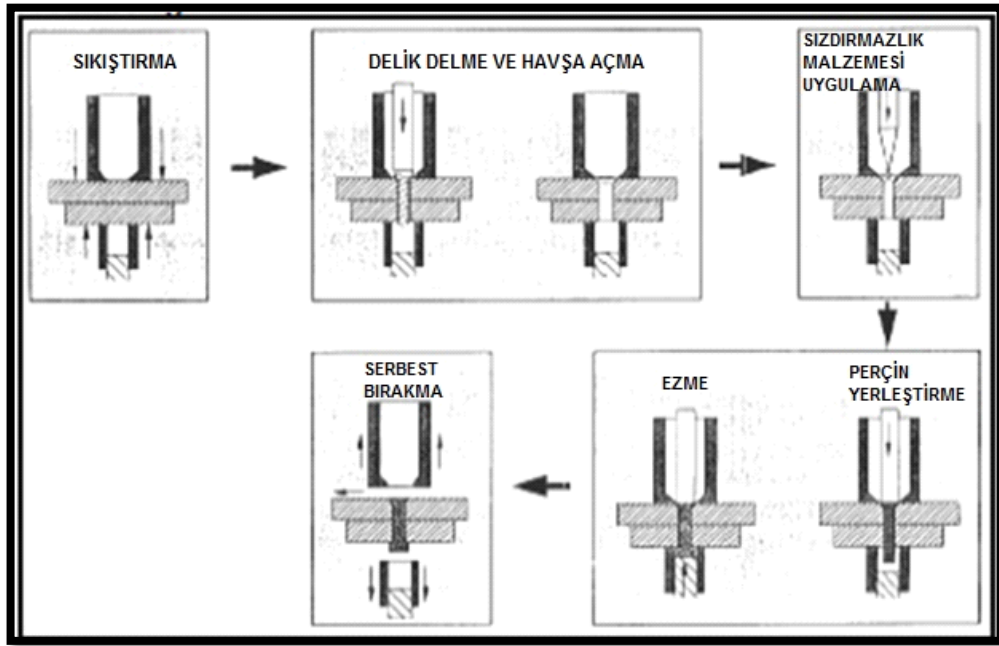
- Planlama, mühendislik çizimleri, delme ve perçinleme standartlarının elde edilmesi
- Parçaların yerleştirilmesi ve desteklenmesi
- Pozisyonların tespit edilmesi ve kenar mesafe kontrolü
- Uygun çapta delme, raybalama ve havşa açma
- Pilot deliklerin aktarılması, delik kontrolü, pilot deliklerin (2.5 mm) tam delik çapı boyutuna getirilmesi (4.76 mm), raybalama ve havşa açma
- Demontaj
- Çapak alma, sızdırmazlık malzemesi uygulaması ve tekrar montaj
- Perçin boylarının belirlenmesi
- İki operatör ile manuel aparatlar yardımıyla perçinleme

- Kalite kontrol

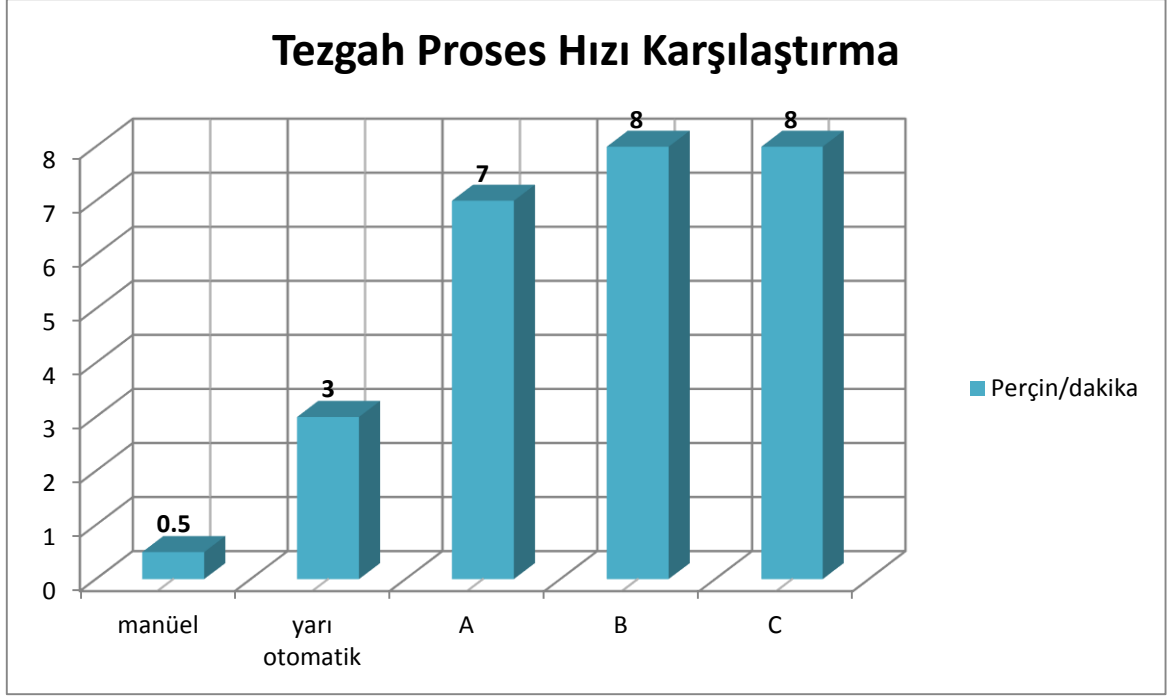
Otomatik perçinleme proses adımları;

- Montajı yapılacak parçaların yerleştirilip pozisyonlanması,
- Tezgâhın erişemediği dar bölgelerde manuel perçinleme yapılması
- Referans deliklerin yerleştirilmesi
- Bir operatör ile otomatik perçinleme
- Kalite kontrol

Proses adımlarından da anlaşıldığı üzere otomatik perçinleme manuel perçinlemeye göre daha az zahmetlidir. Şekil 4.1’de üniversal başlı perçinler için otomatik perçinleme döngüsü gösterilmiştir. Hi-lok perçinler için ise bu döngüde sadece ezme prosesi yoktur.



Şekil 4.1 Otomatik perçinleme döngüsü



Şekil 4.2 Proses hızı karşılaştırması

Şekil 4.2' deki proses karşılaştırma grafiğinde genel olarak manüel, yarı otomatik ve A,B,C tezgahlarında dakikada çakılan perçin sayısı gösterilmiştir. Tezgahlardaki proses hızları düz bir takviye kirişi üzerine çakılan universal başlı perçinler baz alınarak belirlenmiştir. Hızlar perçin tipine, kesici takıma ve kalınlığa göre değişebilir. Tezgâha paneli indirme, boşaltma ve yükleme işlemleri dikkate alınmamıştır. Otomatik perçin tezgâhların manüel perçinlemeye göre hızları ortalama 14-16 kat fazladır.

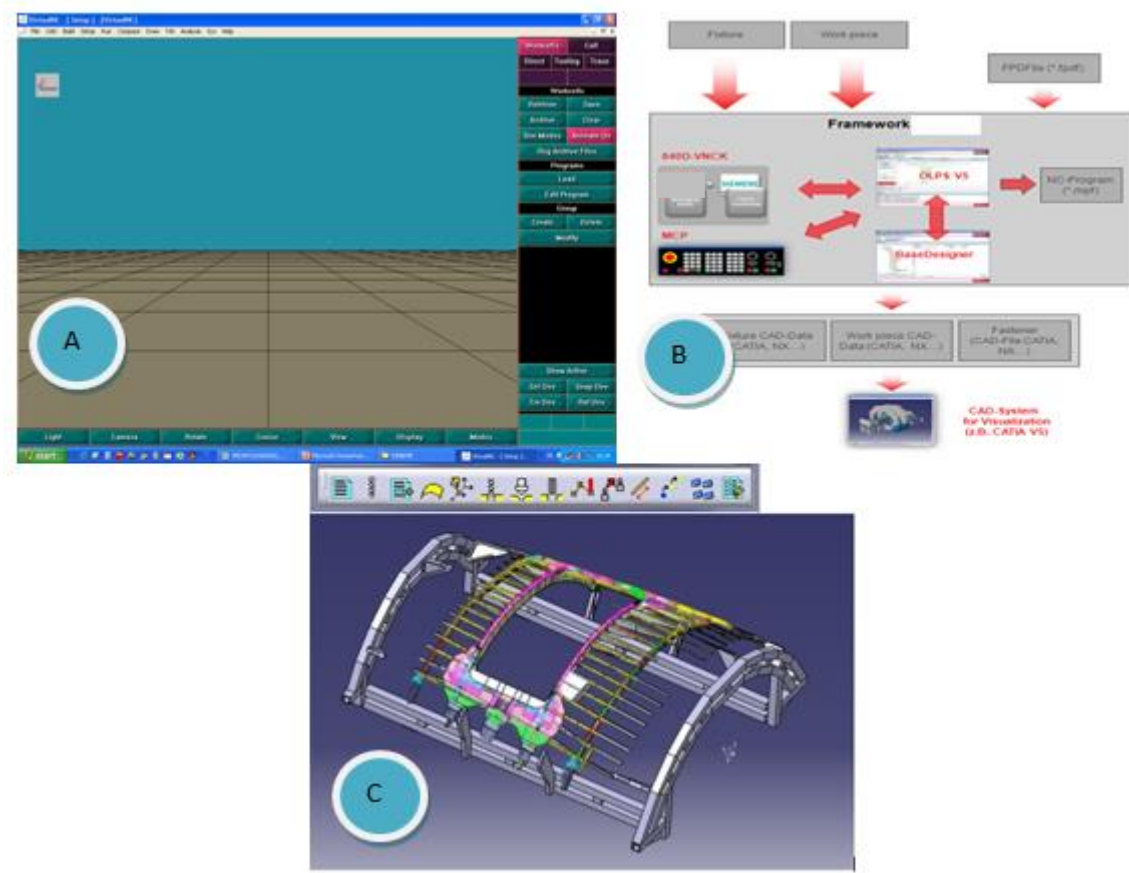
5. OTOMATİK PERÇİN TEZGÂHINDA NC PROGRAMLAMA

Bu bölümde bir yolcu uçağı paneli üretimi için otomatik perçin tezgâhlarında NC programlama öncesinde yapılan çalışmalardan ve NC programlama aşamalarından sırasıyla bahsedilmiştir. Bu yoğun çalışmaların yapıldığı süreçte her türlü teknolojik imkânlardan faydalanılmıştır. Bunların başında ileri düzey ölçüm sistemleri, ileri düzey CAD-CAM çevrimdışı yazılımları ve simülasyon sistemleri gelmektedir.

Tezde kullanılan programlar ve yazılımlar şunlardır:

1. CATIA V5R21 CAD-CAM (Model, STL hazırlama ve C tezgâhı bağlayıcı dosyalarını sınıflandırmak için)
2. UNIGRAPHIC NX7.5 CAD-CAM (Model, STL hazırlama ve bağlayıcı dosyalarını (RDF, FPDF) sınıflandırmak için)
3. VNC DELMIA&SIMULATION (A tezgahına özgü, simülasyon programın içindedir.)
4. B OFFLINE PROGRAMMING SYSTEM&SIMULATION (B tezgahına özgü, simülasyon programın içindedir.)
5. C OFFLINE PROGRAMMING SYSTEM- (C tezgâhına özgü sadece NC programlama için)
6. VERICUT7.2 (C tezgâhı simülasyonu için)

NOT: Karşılaştırmalarda tezgâh üretici firma bilgileri gizlenmiştir. Firma ve tezgâh isimleri A, B ve C şeklinde tanımlanmıştır.

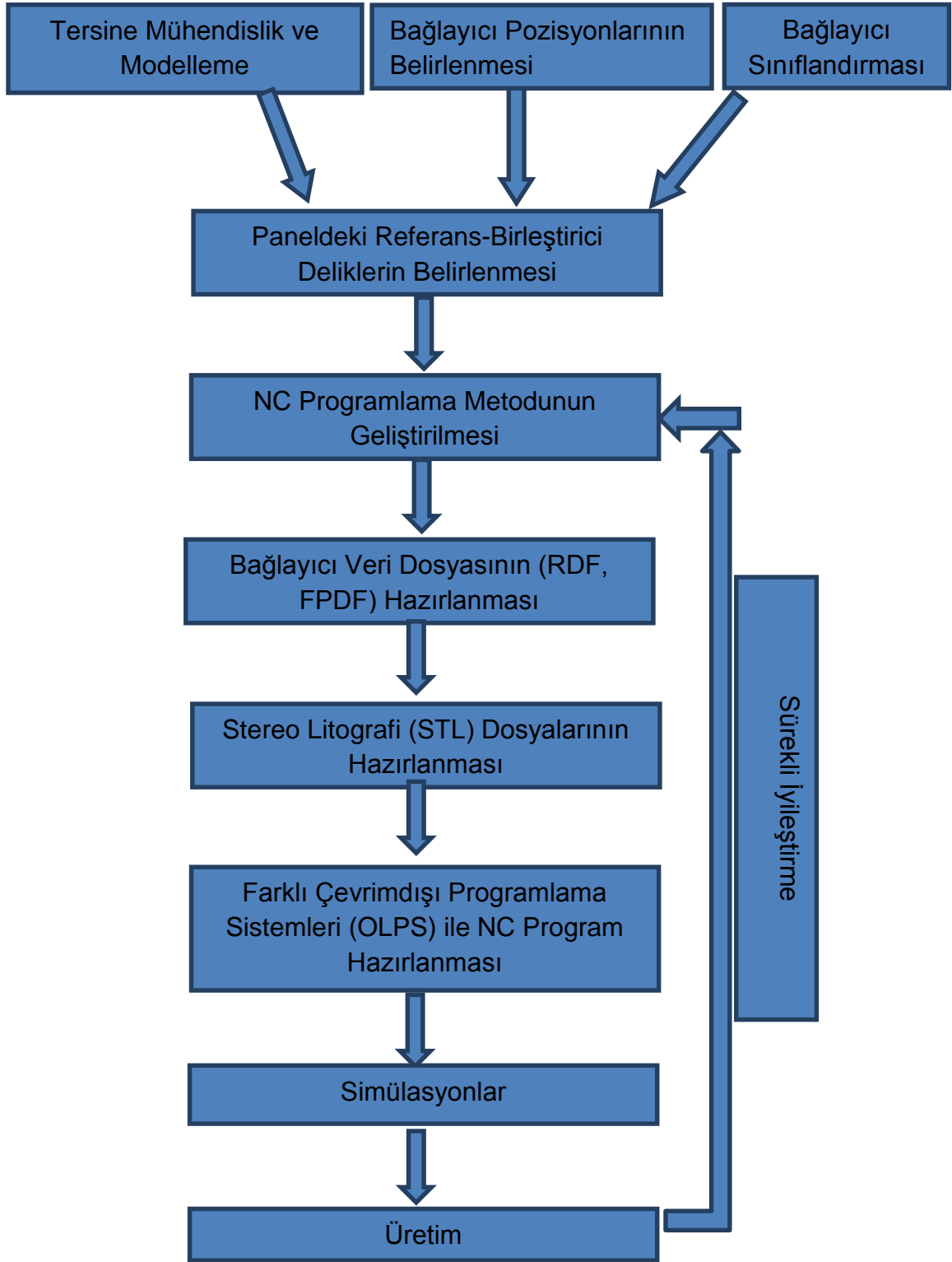


Şekil 5.1 Üç farklı otomatik perçin tezgâhı için kullanılan program ara yüzleri

Bir yolcu uçağı paneli üretiminde Otomatik Perçin Tezgâhı NC programlarının oluşturulabilmesi için gereksinimler şunlardır;

- Panel modeli
- Panel tutucu aparatların modeli
- Anvil modelleri
- Bağlayıcı veri dosyaları
- Çevrimdışı programlama yazılım ve simülasyon sistemleri
- Eğitim düzeyi yüksek ve kalifiye elemanlar

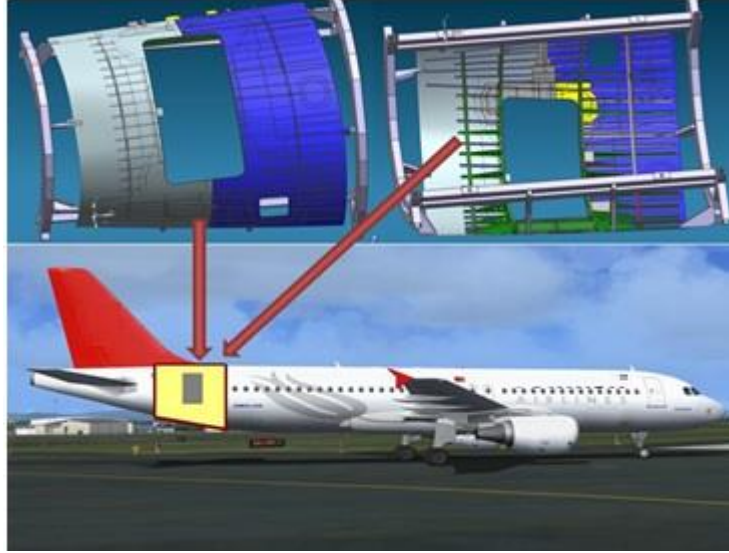
Yukarıdaki maddeler sonraki bölümlerde detaylı şekilde açıklanmıştır. Şekil 5.2’de otomatik perçin tezgâhı yolcu uçağı panel üretiminde, NC programlama temelinde, tersine mühendislik çalışmalarından üretim aşamalarına kadar yapılan çalışmaları gösterilmiştir.



Şekil 5.2 NC program ile panel üretim genel akışı

5.1. Üç Boyutlu Uçak Panel Modelinin Oluşturulması

Panel üretimi için otomatik perçin tezgâhı NC programı oluşturmadan önce elimizde yeterli veri olması gerekir. Bu verileri, modellerin 3D geometrik bilgilerini taşıyan dosyaları, bağlayıcıların koordinatları ve tiplerinin bilgilerini taşıyan yazı formatındaki perçin veri dosyaları oluşturur. Panelin 3D modeli iki boyutlu teknik resimlerden alınan bilgiler doğrultusunda CAD sistemleri kullanılarak oluşturulmuştur. Panelde kabuk, takviye kirişleri, kaburgalar ve diğer bağlantı elemanları modellenmiştir. Modeller Unigraphics NX 7.5 programı kullanılarak hazırlanmıştır. NC program oluşturulurken farklı tezgâhlar için farklı CAD programları da kullanıldığından ihtiyaç olan durumlarda Unigraphics NX 7.5 programındaki tüm veriler CATIA V5R21 programına aktarılmıştır.



Şekil 5.3 Yolcu uçağı panelinin üç boyutlu modeli

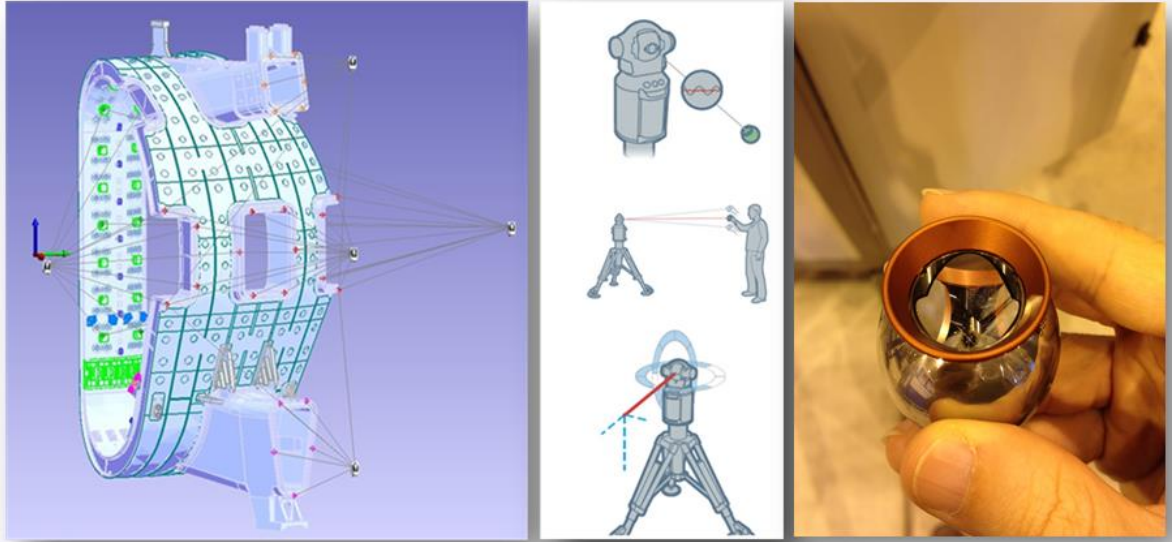
5.2. Bağlayıcı Pozisyonlarının Belirlenmesi

Bağlayıcı pozisyonlarının belirlenmesi programların oluşturulmasındaki temel taşlardan biridir. Tasarım verileri olarak bağlayıcı bilgileri hazır olarak gelmişse çalışmanın bu bölümünde anlatılanları uygulamaya ihtiyaç yoktur. Elimizde böyle bir veri olmadığı için lazer takip sistemleri kullanılarak bağlayıcı pozisyonları belirlenmiştir.

Lazer takip sistemleri, portatif koordinat ölçüm makinelerinin hassasiyet, güvenilirlik ve süreklilik açısından önde gelen cihazlardır. Bu cihazlar çok sayıda endüstri dalı, ürün geliştirme, kalite güvence, kalite kontrol, boyutsal analiz, CAD

ile karşılaştırma ve tersine mühendislik gibi görevler için kullanılmaktadır. Başlıca faydaları; hızlı ve yüksek hassasiyette ölçüm, üretim öncesi direkt geri besleme ile maliyetlerin azaltılması ve kalite artırımı olarak sıralanabilir.

Tezde yapılan çalışmanın bu kısmı tam olarak tersine mühendislik çalışmasıdır. Mevcutta büyük bir işçilik ve zamanla üretilen bir yolcu uçağı panelinin 3D CAD modelinin oluşturulmasından sonra, bağlayıcıların altı ekseninde koordinatlarını elde etmek için panele teknik resimlerden alınan bilgiler doğrultusunda manüel olarak noktaların yerleri markalanmış, markalanan noktalara ise pilot delik adı verilen 2.5 mm çapında delikler delinmiştir. Bu deliklerin her birine lazer takip cihazının 0.5 inç çapındaki küresi yerleştirilmiş, bu kürenin konumuna istinaden tüm deliklerin koordinatları ve bağlayıcı isimleri bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Böylece kabaca ham bağlayıcı verileri elde edilmiştir.



Şekil 5.4 Lazer takip cihazı ölçümü [37]

5.3. Pozisyonları Belirlenen Bağlayıcıların Sınıflandırılması

Lazer ölçüm cihazıyla koordinatları belirlenen bağlayıcı verisi elde edildikten sonra, yapılacak en önemli işlemlerden biri bağlayıcıların sınıflandırılmasıdır. Sınıflandırmanın kusursuz yapılması yolcu uçağı panel üretimini doğrudan etkiler. Bu sınıflandırmada öncelikle bağlayıcıların tezgâh öncesi, tezgâhtaki ve tezgâh sonrası durumları değerlendirilerek, bağlayıcıların tipi, çapları, boyları, programın hangi kısmında yazılacağı, bağlayıcının tezgâhtaki durumu belirlenmiştir. Ayrıca yapılan sınıflandırmanın görsel olması ve kısımlara ayrılması yapılacak işin hata

riskini en aza indireceğinden renk kodları oluşturulmuştur. Yaklaşık 3500 adet perçin yukarıda açıklanan durumlara göre sınıflandırılmıştır.

Çizelge 5.1 Bağlayıcı sınıflandırılmasındaki renk kodları

Renk Kodları ve Anlamları	
	Sadece Delinenler
	Delinen ve Çakılanlar
	Pilot Delikler
	Havşasız Açılacak Delikler
	Referans Delikler
	Program Tek Aşamada Yazılırsa Tezgâhta Çakılamayanlar

Sadece delinenler; tezgâhın ulaşamadığı bölgelerde panel tezgâha gelmeden önce manuel olarak delinen deliklerdir.

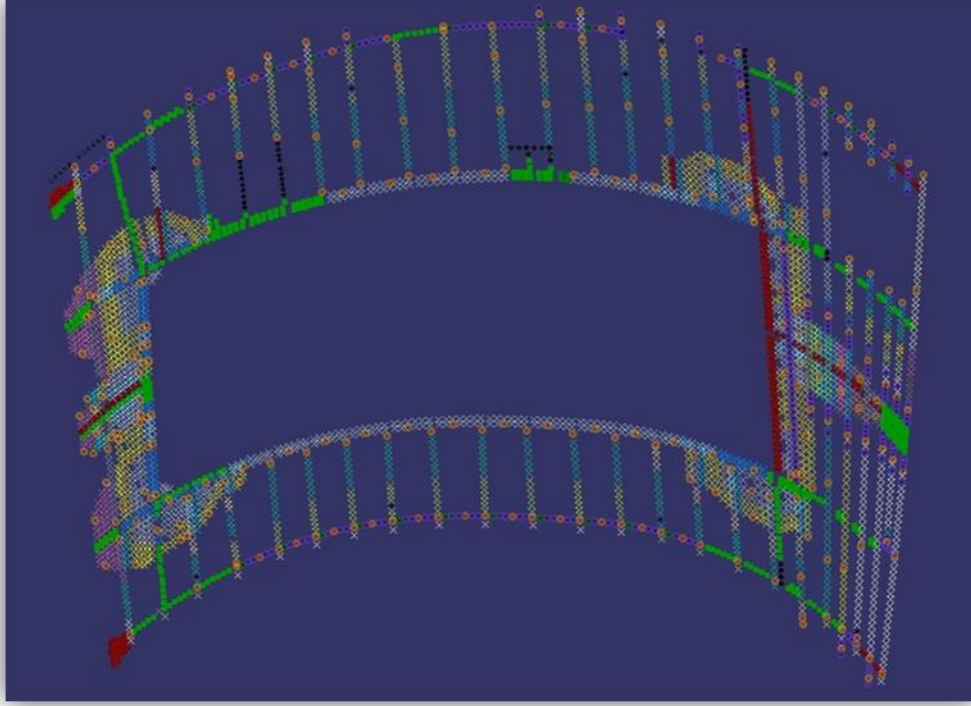
Delinen ve çakılanlar; tezgâhın ulaşamadığı bölgelerde panel tezgâha gelmeden önce manuel olarak çakılan bağlayıcılardır.

Pilot delikler; detay parçalardan gelen delikler nedeniyle panele aktarılması zorunlu olan deliklerdir.

Havşasız açılacak delikler; panel tezgâha gelmeden önce manuel olarak havşasız delinen deliklerdir.

Referans delikler; uçak panelindeki kabuk, takviye kirişleri, kaburgalar ve diğer yapısal elemanların, panel tezgâha gelmeden önce birbirlerini geçici olarak tutmasını sağlayan deliklerdir.

Program tek aşamada yazılırsa tezgâhta çakılamayanlar; iki aşamada yazılan program tek aşamada yazıldığında yapısal elemanların altında kalan, tezgâhın ulaşamayacağı bağlayıcılardır.



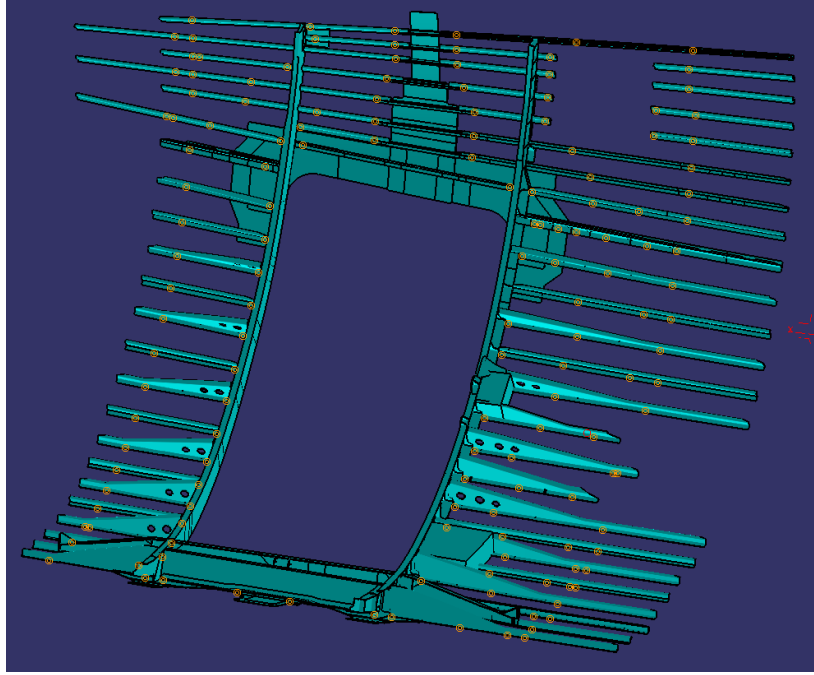
Şekil 5.5 Bağlayıcıların sınıflandırılması

5.4. Paneldeki Referans-Birleştirici Deliklerin Belirlenmesi

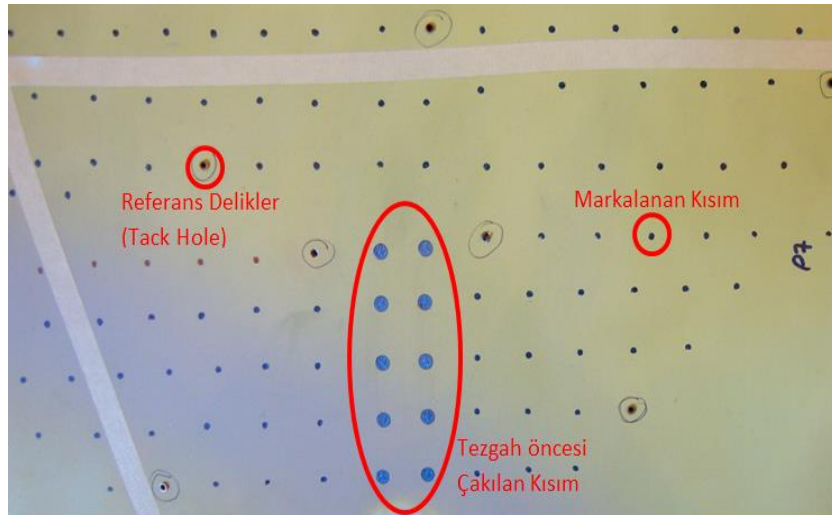
Paneldeki referans delikler, birleştirici delikler olarak da adlandırılabilir. Bu delikler hem NC programlama hem de üretim için oldukça önemlidir. Referans delikler uçak panelindeki kabuk, takviye kirişleri, kaburgalar ve diğer yapısal elemanlarının, otomatik perçin tezgâhına gelmeden önce birbirlerini geçici olarak tutmasını sağlar. Referans delikler panele manüel olarak yerleştirilir dolayısıyla panelin yapısal olarak dengeli olması istenirken aynı zamanda işçiliğin azaltılması için optimum sayıda referans delik açılması prosesi mükemmel kılar. Referans alınan deliklerin yanlış olması durumunda buna bağlı tüm bağlayıcıların yerleri kayar, yanlış koordinatlar sebebiyle tezgâh uçak parçasına çarpabilir ve istenilen yerlere yerleştirilemeyen bağlayıcılar nedeniyle kalite gereksinimlerinin dışına çıkan panel kullanılamaz duruma gelebilir. Bu durum büyük maliyet, zaman ve işçilik kaybına sebep olur. Bu nedenle optimum dağılımı yapılan referans deliklerin tam olarak doğru yerde açılması hayati önem taşır.

Bu çalışmada toplamda 3500 adet bağlayıcı için panelin çeşitli bölgelerine 150 adet referans delik yerleştirilmiştir. Şekil 5.6'da referans panel üzerindeki deliklerin yerleşimi gösterilmiştir. NC programlama mantığı oluşturulurken temel alınan kısım

referans deliklerdir. Otomatik perçin tezgâhı NC programlamada farklı kodlarla tanımlanan bu delikleri koordinat ekseninde $x=0$, $y=0$, $z=0$, $i=0$, $j=0$, $k=0$ kabul ederek yapısal elemanların üzerinde bulunan tüm bağlayıcıların koordinatlarını bu deliklere göre referans alır. Panel üzerinde bağlayıcı yerleştirilmesi gereken noktayı deler, sızdırmazlık elemanı sürer ve bağlayıcıyı yerleştirir.



Şekil 5.6 Panel modelindeki referans-birleştirici delikler



Şekil 5.7 Referans delik yerleştirme çalışmalarından bir örnek

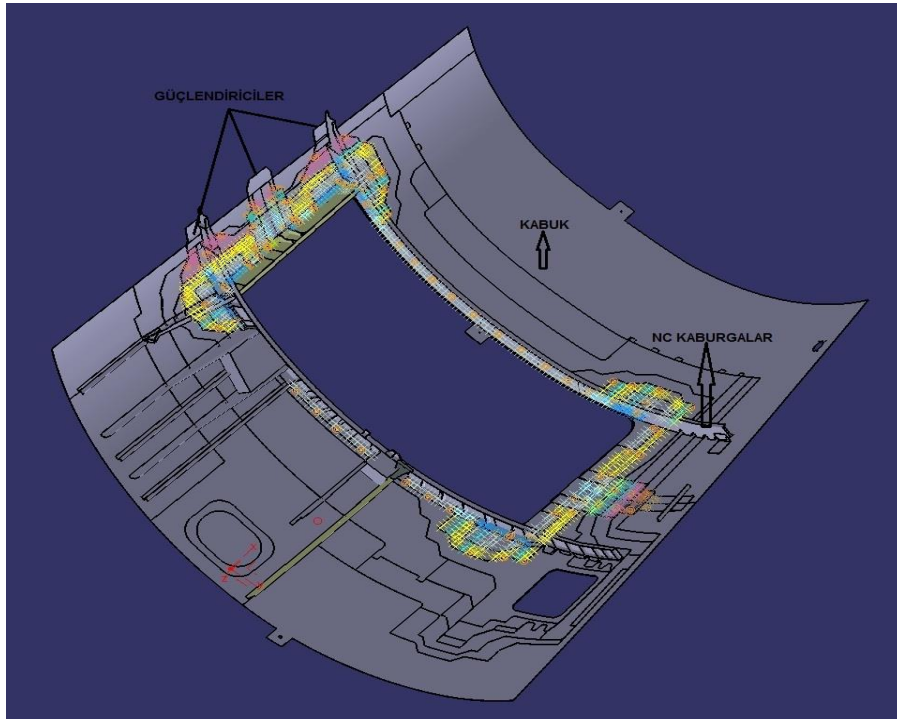
5.5. NC Programlama Metodunun Geliştirilmesi

NC programlama metodunun geliştirilmesi referans delik yerleştirme çalışmalarıyla eş zamanlı bir şekilde yürütülür. Çünkü bu çalışmayla yazılım dünyasında yapılacak çalışmaların temeli atılmış olur. RDF ve STL dosyaları, programlama öncesinde oluşturulan metot doğrultusunda hazırlanır. Programı hazırlanan uçak panelini oluşturan yapısal elemanlar şunlardır:

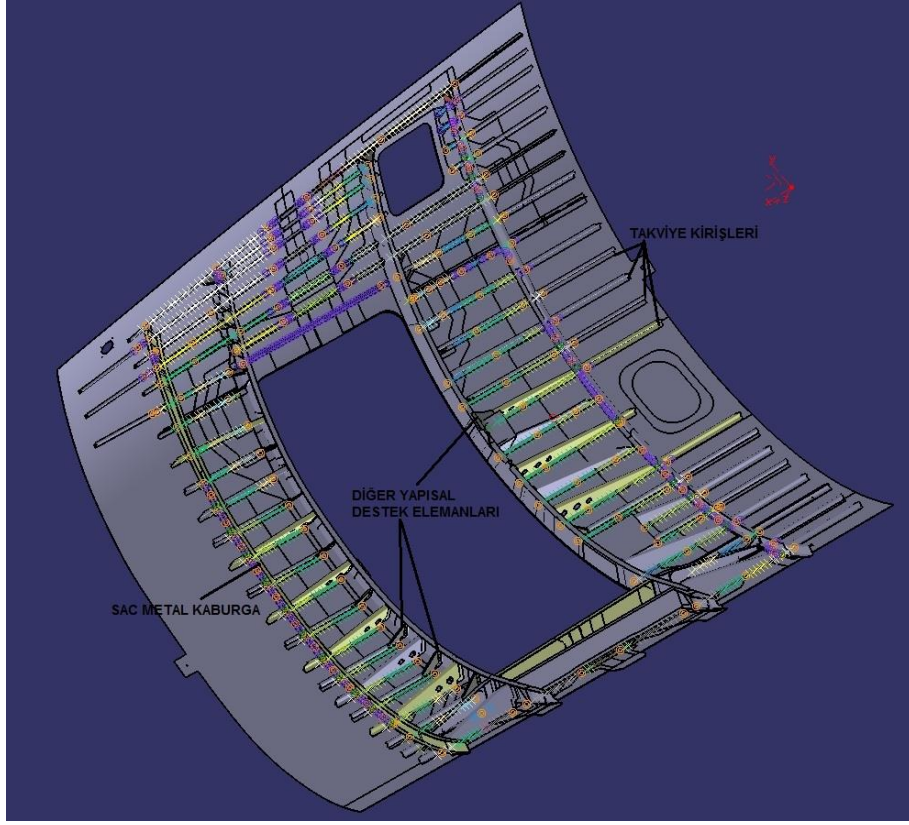
- Kabuk (Skin)
- NC Kaburgalar (NC Frames)
- Takviye Kirişleri (Stringers)
- Güçlendiriciler (Reinforcements)
- Sac Metal Kaburgalar (Sheet Metal Frames)
- Diğer Yapısal Destek Elemanları (Cleats, Lintel)

Bu çalışmada programın iki aşamada yazılmasına karar verilmiştir.

1. Aşama = Kabuk+NC Kaburgalar+Güçlendiriciler
2. Aşama = 1. Aşama+Takviye Kirişleri+Sac Metal Kaburgalar



Şekil 5.8 Birinci aşama NC program uçak panel yapısı



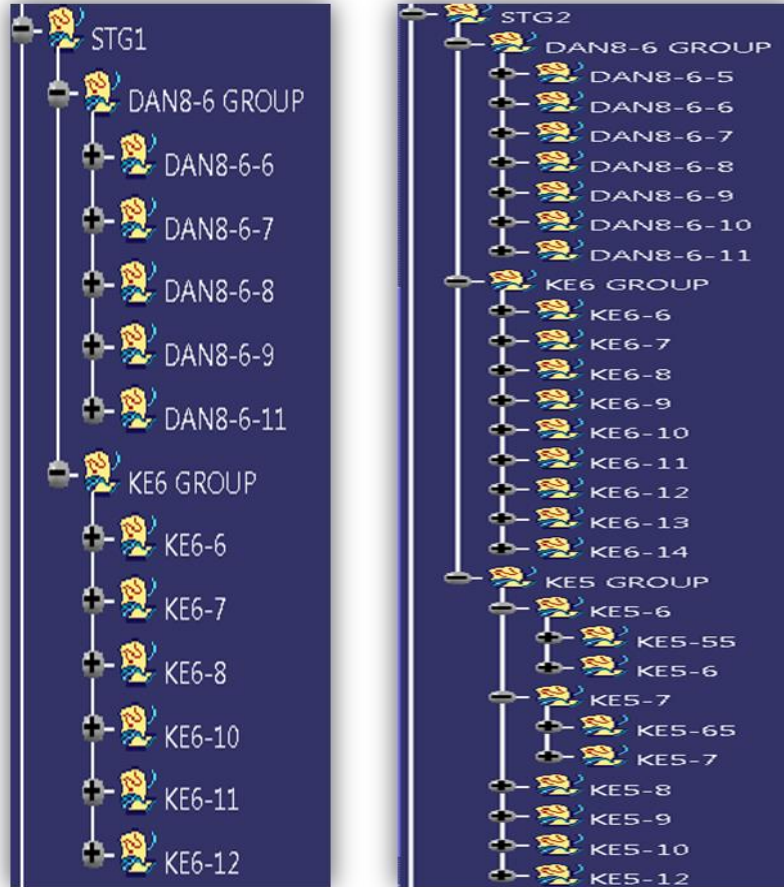
Şekil 5.9 İkinci aşama NC program uçak panel yapısı

Programda iki aşama tamamlandıktan sonra otomatik perçin tezgâhı ile montajı mümkün olmayan bazı destek parçaları elle yerleştirilecektir.

Programın iki aşamada hazırlanmasında iki ana etmen vardır. Birincisi program tek aşamada hazırlanırsa takviye kirişlerinin altında kalacak ve tezgâhın ulaşamayacağı yüz adetten fazla perçinin montajı elle yapılacaktır. Bu da işçiliği artıracaktır. İkincisi ise yazılımı ilk defa yapılan programlarda simülasyon programları teorik ve pratik anlamda %100 etkin olmadığından tezgâhın panel ile olası çarpma riski yüzdesi artacaktır. Bu da ciddi anlamda maliyet getirecektir. Hem tezgâhın ulaşabileceği perçin sayısını artırmak, hem panelin tezgâh ile çarpma riskini en aza indirmek için iki aşamada programın hazırlanması öngörülmüştür.

5.6. Bağlayıcı Veri Dosyalarının Hazırlanması

NC programlama metodunun geliştirilmesinden sonra bağlayıcı dosyalarının metoda uygun bir şekilde hazırlanması gerekir. Bunun için 1. Aşama ve 2. Aşama olmak üzere tüm bağlayıcılar tiplerine, çaplarına ve uzunluklarına göre kategorize edilmiştir. Bunun sonucunda hazırlanacak olan RDF ve FPDF dosyalarını yönlendiren kategorize edilmiş bağlayıcı dosyalarıdır.



Şekil 5.10. Birinci ve ikinci program aşamalarına göre sınıflandırılan bağlayıcılar

5.6.1. Bağlayıcı Veri Dosyası

Bağlayıcı veri dosyası otomatik perçin tezgâhı ile NC program oluşturmak için A tezgâhının VNC Delmia programının kullandığı, panel üzerinde tezgâhın işlem yapacağı tüm bağlayıcılara ait bağlayıcı tipi ve uzunluğu, beş eksen koordinatlar, yüzey diklik bilgisi, referans delik olma durumu, bağlayıcı kimliği gibi bilgileri içeren dosyalardır. RDF sadece C tezgâhının programlaması için oluşturulmuştur.

```

Gruptaki Sıra Numarası
Bağlayıcı tipi
$$ Prog Name :DAN8-6
$$ Date :Tue Jun 11 14:46:21 2013
$$ Programmer:OSMAN EMRE CELEK
$$ Prog Unit :METRIC CAM:Unigraphics
$$ Machine :RIVETING MACHINE
RESERV/ MV285_0001
MV285_0001( 1) 581.071 -2059.966 -1243.694 0.0331 0.5435 0.8387
MV285_0001( 2) 561.526 -2057.457 -1244.543 0.0334 0.5423 0.8395
MV285_0001( 3) 578.880 -2081.958 -1229.109 0.0333 0.5566 0.8301
MV285_0001( 4) 553.161 -2080.127 -1229.298 0.0337 0.5559 0.8306
MV285_0001( 5) 527.149 -2077.614 -1229.917 0.0341 0.5549 0.8312
$$ END OF PATH

```

Grup İsmi X kordinatı Y Z i j k

```

RESERV/ MV285_0002 12
MV285_0002( 1) 516.999 -2134.225 -1190.011 0.0348 0.5885 0.8077
MV285_0002( 2) 536.913 -2135.753 -1189.751 0.0345 0.5890 0.8074
MV285_0002( 3) 557.351 -2136.939 -1189.756 0.0342 0.5893 0.8072
MV285_0002( 4) 577.498 -2138.047 -1189.795 0.0338 0.5896 0.8070
MV285_0002( 5) 530.216 -2154.808 -1175.347 0.0349 0.6007 0.7987
MV285_0002( 6) 509.764 -2154.031 -1175.034 0.0352 0.6007 0.7987
MV285_0002( 7) 504.958 -2170.866 -1161.984 0.0356 0.6112 0.7907
MV285_0002( 8) 486.603 -2152.964 -1174.810 0.0356 0.6006 0.7988
MV285_0002( 9) 483.691 -2169.608 -1161.995 0.0359 0.6109 0.7909
MV285_0002( 10) 477.816 -2188.476 -1146.918 0.0364 0.6229 0.7814
MV285_0002( 11) 455.401 -2186.593 -1147.370 0.0367 0.6223 0.7819
MV285_0002( 12) 434.177 -2185.474 -1147.259 0.0371 0.6222 0.7820
$$ END OF PATH
RESERV/ MV285_0003 9
MV285_0003( 1) 431.975 -2237.558 -1103.813 0.0384 0.6559 0.7539
MV285_0003( 2) 458.698 -2239.292 -1103.657 0.0379 0.6562 0.7537
MV285_0003( 3) 456.183 -2259.594 -1085.536 0.0385 0.6693 0.7420
MV285_0003( 4) 426.882 -2258.510 -1084.982 0.0391 0.6695 0.7418
MV285_0003( 5) 453.026 -2282.836 -1063.972 0.0393 0.6842 0.7282
MV285_0003( 6) 424.289 -2281.824 -1063.362 0.0398 0.6845 0.7279
MV285_0003( 7) 400.459 -2281.605 -1062.257 0.0402 0.6852 0.7272
MV285_0003( 8) 396.901 -2306.648 -1037.923 0.0411 0.7014 0.7116
MV285_0003( 9) 420.353 -2305.668 -1040.233 0.0407 0.6999 0.7131
$$ END OF PATH
RESERV/ MV285_0004 20
MV285_0004( 1) 448.247 -2346.877 -999.941 0.0417 0.7251 0.6874
MV285_0004( 2) 435.365 -2360.181 -984.929 0.0424 0.7341 0.6777
MV285_0004( 3) 411.311 -2359.282 -984.387 0.0429 0.7344 0.6773
MV285_0004( 4) 419.442 -2345.711 -999.415 0.0422 0.7254 0.6870
MV285_0004( 5) 391.358 -2345.896 -997.484 0.0427 0.7266 0.6857
MV285_0004( 6) 388.226 -2358.475 -983.794 0.0433 0.7348 0.6769
MV285_0004( 7) 386.139 -2370.912 -969.991 0.0439 0.7430 0.6679
MV285_0004( 8) 398.550 -2383.610 -956.522 0.0443 0.7508 0.6591
MV285_0004( 9) 415.338 -2372.439 -970.201 0.0434 0.7428 0.6681
MV285_0004( 10) 428.060 -2385.145 -956.742 0.0437 0.7505 0.6594
MV285_0004( 11) 443.559 -2373.625 -970.704 0.0428 0.7424 0.6686
MV285_0004( 12) 460.016 -2361.227 -985.331 0.0420 0.7338 0.6781
MV285_0004( 13) 472.588 -2374.211 -971.900 0.0423 0.7417 0.6694
MV285_0004( 14) 456.569 -2386.766 -956.774 0.0432 0.7504 0.6595

```

Şekil 5.11. VNC Delmia perçin veri dosyası kesiti

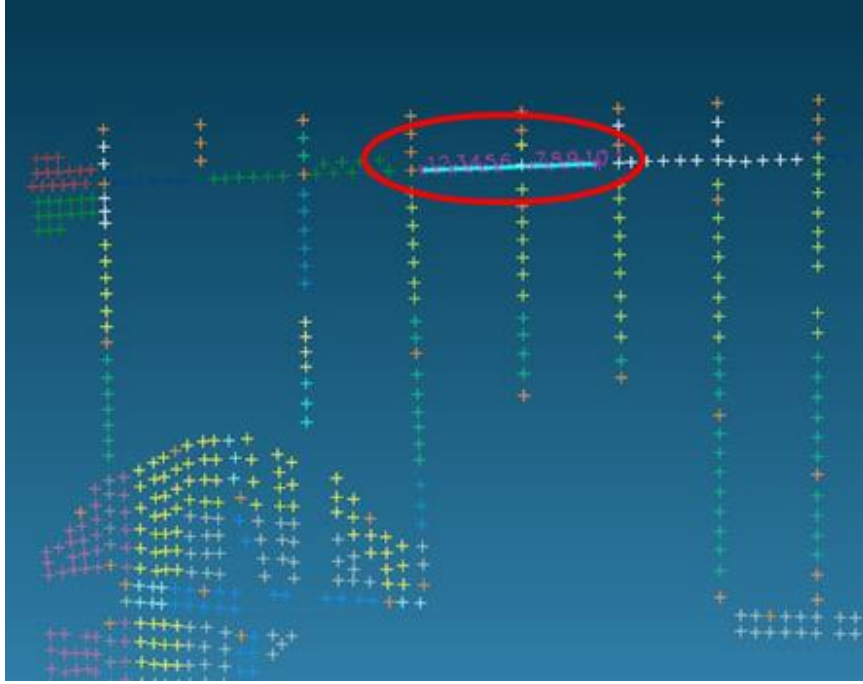
VNC Delmia ile RDF oluşturulduğunda NC program hazırlanırken grup ismi ve grup bilgilerinden (örn; mv285_0001) bir tablo vasıtasıyla veriler otomatik olarak çekilir ve programda kullanılır. Bu tablo süreç kodu, bağlayıcı kodu, bağlayıcı boyu, çevrim kodu, sızdırmazlık elemanı kodu, tezgâh kodu, bağlayıcı tipi,

ortalama bağlayıcı çapı, minimum ve maksimum parça kalınlık aralıkları gibi bilgiler içerir.

Çizelge 5.2 Perçin veri çizelgesi

PROSES KODU	PERÇİN KODU	UZUNLUK KODU	PERÇİN TİPİ	ÇAP	UZUNLUK	MAKSİMUM KALINLIK
d	a	95	EN6101KE5-6	3,97	9,53	5,952
d	a	111	EN6101KE5-7	3,97	11,11	7,537
d	a	127	EN6101KE5-8	3,97	12,70	9,127
d	a	143	EN6101KE5-9	3,97	14,29	10,717
d	a	159	EN6101KE5-10	3,97	15,88	12,307
d	b	95	EN6101KE6-6	4,76	9,53	5,083
d	b	111	EN6101KE6-7	4,76	11,11	6,668
d	b	127	EN6101KE6-8	4,76	12,70	8,258
d	b	143	EN6101KE6-9	4,76	14,29	9,848
d	b	159	EN6101KE6-10	4,76	15,88	11,433
d	b	175	EN6101KE6-11	4,76	17,46	13,018
d	b	191	EN6101KE6-12	4,76	19,05	14,766
m	v	105	EN6114K3-2	4,81	10,540	3,170
m	v	121	EN6114K3-3	4,81	12,120	4,760
m	v	137	EN6114K3-4	4,81	13,710	6,350
m	v	153	EN6114K3-5	4,81	15,300	7,930
m	v	169	EN6114K3-6	4,81	16,880	9,520
m	v	185	EN6114K3-7	4,81	18,470	11,110
m	v	201	EN6114K3-8	4,81	20,060	12,700
m	v	285	EN6114K3-9	4,81	21,650	14,280

Çalışmanın bu kısmında UG NX7.5 programında 3500 adet bağlayıcı onarlı gruplara ayrılmış ve bu şekilde RDF oluşturulmuştur. Onarlı gruplara ayırmanın temel nedeni RDF'i VNC Delmia programına aktardığımızda, NC program bağlayıcı verilerine göre hazırlandığından, NC programlamada bir hata çıktığında küçük grupları yöneterek hatayı daha kolay elimine etmektir. Bu bize RDF hazırlama aşamasında oldukça zaman kaybettirse de (yaklaşık 5 hafta), NC program hatalarında ve ileride gelebilecek program değişikliklerinde ciddi anlamda zaman kazandırır.

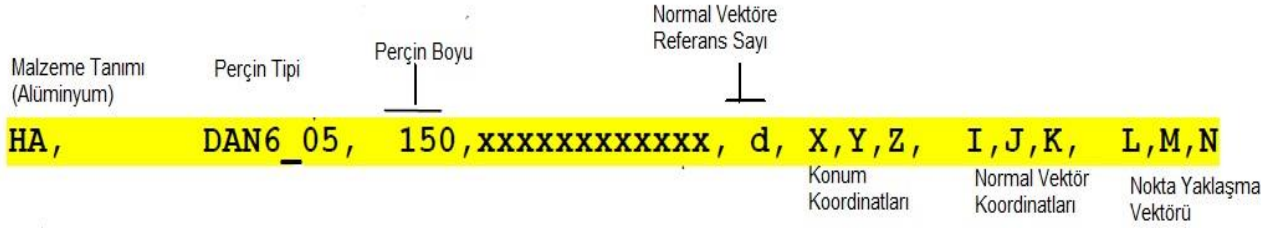


Şekil 5.12 Onarlı gruplara ayrılan bağlayıcılar

5.6.2. Bağlayıcı Proses Veri Dosyası

RDF ile birçok benzerlik gösteren ve aynı işlemler için kullanılan FPDF sadece B tezgâhının programlaması için oluşturulmuştur. FPDF panel üzerinde işlem yapılacak tüm bağlayıcı noktalarının özelliklerini içerir ve perçin tezgâhının iş akışı için bir temel oluşturur. Her uçak paneli programı için ayrı bir FPDF dosyası hazırlanması gerekir. FPDF' i oluşturan ana kısımlar şunlardır:

- \$\$HEAD Başlık Kısmı
- \$\$SPEC Spesifikasyon Tanımı
- \$\$SOURCE Kaynak İsmi ve Revizyon Satırı
- \$\$COMMENT Yorum Satırı
- \$\$PATH Yol Bilgi Satırı
- xxxxxxxxxx Pozisyon ve Hareket Satırı



Şekil 5.13 FPDF satır tanımı

Çalışmanın bu kısmında da yine RDF oluşturmaya benzer bir şekilde UG NX7.5 programında 3500 adet bağlayıcı onarlı gruplara ayrılmış ve bu şekilde FPDF oluşturulmuştur. Şekil 5.14'de bağlayıcı işlem veri dosyasından bir kesit gösterilmiştir.

```

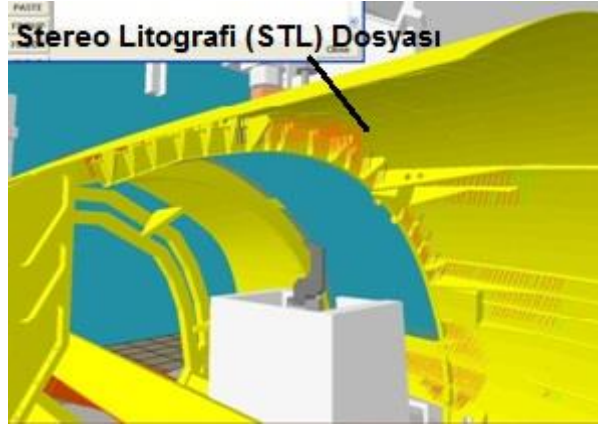
$$HEAD, Sec18
$$SPEC, AP1684, 1.01, INCH, METRIC
$$SOURCE,
$$COMMENT, This is a comment line
$$PATH, NR_240, 14
X1-A018-A016, NAS1097E5, 060, p163n0933320, 0, 33201.6019, -929.9906, 1633.97793, -0.04794, 0.54987, -0.83387, 1, 0, 0
G1-A018-A016, NAS1097E5, 060, p163n0943311, 0, 33112.28471, -936.33415, 1634.88523, -0.04706, 0.54948, -0.83418, 1, 0, 0
G1-A018-A016, NAS1097E5, 060, p163n0943307, 0, 33066.68668, -939.47039, 1635.37847, -0.04655, 0.5493, -0.83433, 1, 0, 0
G1-A018-A016, NAS1097E5, 060, p164n0943305, 0, 33051.08202, -940.4613, 1635.59509, -0.04637, 0.5492, -0.83441, 1, 0, 0
G1-A040-A016, NAS1097E5, 070, p164n0943302, 0, 33022.28365, -942.27506, 1635.9955, -0.046, 0.54902, -0.83454, 1, 0, 0
G1-A040-A016, NAS1097E5, 070, p164n0953300, 0, 32997.9261, -943.81357, 1636.32149, -0.04568, 0.54889, -0.83464, 1, 0, 0
G1-A040-A016, NAS1097E5, 070, p164n0953297, 0, 32973.56775, -945.34786, 1636.64088, -0.04534, 0.54877, -0.83474, 1, 0, 0
G1-A040-A016, NAS1097E5, 070, p164n0953295, 0, 32949.20901, -946.87768, 1636.95334, -0.04499, 0.54867, -0.83483, 1, 0, 0
G1-A040-A016, NAS1097E5, 070, p164n0953293, 0, 32924.84985, -948.4028, 1637.25857, -0.04462, 0.54857, -0.83491, 1, 0, 0
G1-A040-A016, NAS1097E5, 070, p164n0953290, 0, 32900.49025, -949.923, 1637.55621, -0.04424, 0.54848, -0.83499, 1, 0, 0
G1-A040-A016, NAS1097E5, 070, p164n0953288, 0, 32876.13017, -951.43805, 1637.84595, -0.04384, 0.54841, -0.83506, 1, 0, 0
G1-A040-A016, NAS1097E5, 070, p164n0953285, 0, 32851.7696, -952.94768, 1638.12743, -0.04342, 0.54833, -0.83513, 1, 0, 0
G1-A040-A016, NAS1097E5, 070, p164n0963283, 0, 32827.4085, -954.45168, 1638.40006, -0.04299, 0.54829, -0.83518, 1, 0, 0
G1-A040-A016, NAS1097E5, 070, p164n0963281, 0, 32805.04347, -955.82729, 1638.6424, -0.04257, 0.54828, -0.83521, 1, 0, 0
$$PATH, NR_182, 6
Q1-A018-A016, NAS1097E5, 060, p171n0943090, 0, 30897.75789, -937.587, 1712.01911, -0.01938, 0.48902, -0.87206, 1, 0, 0
G1-A018-A016, NAS1097E5, 060, p170n0963090, 0, 30897.81111, -959.30099, 1699.63025, -0.01952, 0.50162, -0.86487, 1, 0, 0
G1-A018-A016, NAS1097E5, 060, p169n0983090, 0, 30897.81141, -975.47151, 1690.14155, -0.01968, 0.51024, -0.8598, 1, 0, 0
G1-A018-A016, NAS1097E5, 060, p168n0993090, 0, 30897.81182, -991.54815, 1680.49702, -0.01992, 0.51823, -0.85501, 1, 0, 0
G1-A018-A016, NAS1097E5, 060, p167n1003090, 0, 30897.81243, -1007.53633, 1670.70707, -0.02026, 0.52604, -0.85022, 1, 0, 0
G1-A018-A016, NAS1097E5, 060, p166n1023090, 0, 30897.81319, -1023.43145, 1660.76516, -0.02069, 0.53423, -0.84509, 1, 0, 0

```

Şekil 5.14 B OLPS FPDF kesiti

5.7. Stereo Litografi Dosyalarının Hazırlanması

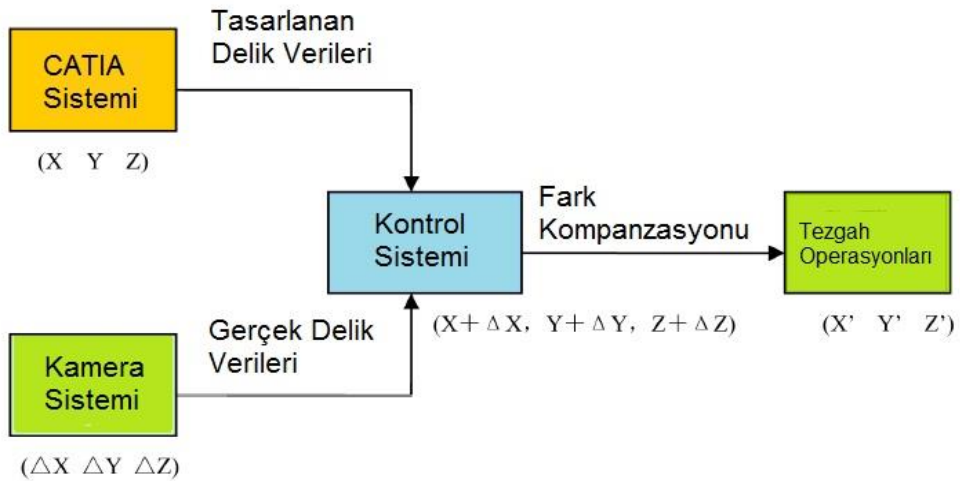
STL dosyaları NC programı hazırlanacak uçak panelinin 3D geometrik model bilgilerini içeren ve üç tezgâh için de kullanılan dosyalardır. Kabuk, takviye kirişleri, kaburgalar, destek elemanları gibi yapısal parçaların boyutları, pozisyonları, birbiriyle olan montaj bağlantılarını ve ilişkilerini gösterir, programlama ve proses tasarımı yapıldıktan sonra bu tasarıma göre STL dosyaları şekillenir. RDF dosyalarındaki perçin verileriyle entegre olarak görsel olarak programlamayı hazırlamaya yarar. Tezgâh ve STL koordinat sistemlerinin aynı konumda olması, panelin tezgâha doğru bir şekilde yerleştirilmesi, STL dosyası üzerindeki perçin verilerinin kaymaması için son derece önemlidir. Hem programlama hem de simülasyon için kullanılır. Bu çalışmada üç tezgâhta programlama ve simülasyon için uçak panelinin STL dosyaları oluşturulmuştur.



Şekil 5.15 VNC Delmia stereo litografi dosyası

6. FARKLI ÇEVİRİMDIŞI PROGRAMLAMA SİSTEMLERİ, KOMUTLARI, PROGRAM OLUŞTURULMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI

Bölüm 5'te bahsedilen farklı çevrimdişi programlama sistemleri her üç tezgâh için de NC program oluşturmak amacıyla kullanılmıştır. Oluşturulan programlar gerçek verilerden elde edilen teorik verileri içerir. Teorik verilerle hazırlanan programlardaki veriler otomatik perçin tezgâhı üzerindeki gerçek paneldeki verilerden birtakım sapmalara uğrar. Kontrol sistemleri teorik ve pratikteki verilerin karşılaştırmasını yapar ve oluşan farkı bildirir. Tezgâhta fark kompanzasyonu yapılarak tezgâh operasyonları harekete geçirilir ve paneldeki yapısal elemanlar üzerinde montaj için delme, sızdırmazlık malzemesi sürme, perçin yerleştirme ve perçin ezme gibi işlemler otomatik olarak yapılır. Sistemin genel olarak açıklaması kısaca Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Sistemin genel çalışma prensibi [38]

Tezde her üç tezgâh için farklı çevrimdişi programlama sistemleri ile NC programlar hazırlanmıştır. Çevrimdişi programlama sistemlerinin avantajları ve dezavantajlarını aşağıdaki şekilde açıklayabiliriz.

Avantajları;

- OLP için simülasyon modellerinin geliştirilmesi sistemi anlamayı sağlar.
- Mevcut veya ortaya çıkabilecek problemler için farklı senaryolar yazılıp çözüm kolayca sağlanabilir. Çözüm odaklıdır.

- Grafiksel ve görsel simülasyon ve programlama sistemleri analitik model ve sistemlerden daha anlaşılır ve kolaydır.
- Verimli bir eğitim aracıdır.
- Özel uygulamalar için en iyi sistemi seçmemizi sağlar.
- Robot ve tezgâh tiplerinden bağımsız olarak tek bir programlama sistemi program oluşturmak için kullanılabilir.
- Simülasyonu yapılan tezgâh hareketleri tezgâh programlaması için kullanılabilir.

Dezavantajları;

- Proseslere, modellere, programlara ve simülasyonlara hâkim olmak özel eğitim ve geniş bilgi gerektirir.
- Simülasyon sonuçlarından çıkarım yapabilmek bazı durumlarda zordur.
- Modelleme ve analiz sonuçlarını elde etmek çok zaman alır ve pahalıdır.
- Proses bilgisi yüksek olan insanlar nadiren simülasyon modelleri ve programların hazırlanmasında öncü olur.
- Bir çok farklı senaryo üretilmesi kişinin bilgi ve yeteneğine bağlı olduğundan optimum bir çözümün garantisi yoktur.

Tezde NC programlar oluşturulurken Bölüm 5'te açıklanan NC programlama metodunun geliştirilmesine bağlı yöntem izlenmiştir ve program iki aşamada hazırlanmıştır. Perçin dosyalarının sınıflandırılması, STL, RDF ve FPDF dosyalarının hazırlanmasıyla birlikte programlama aşamasına geçilmiştir.

Şekil 5.10'daki gibi kategorize edilen aşağıdaki bağlayıcı tipleri yapısal elemanların montajında kullanılacaktır.

Her üç tezgâh için de programlama 1. aşama bağlayıcı tipleri;

- Kabuk (Skin) + NC Kaburgalar (NC Frames): **DAN8-6**
- Kabuk (Skin) + Güçlendiriciler (Reinforcements): **KE5+ KE6**
- Kabuk (Skin) + NC Kaburgalar (NC Frames)+Güçlendiriciler (Reinforcements): **DAN8-6**

Her üç tezgâh için de programlama 2. aşama bağlayıcı tipleri;

- 1. Aşama+ Takviye Kirişleri: **KE5+ KE6**
- 1. Aşama+ Sac Metal Kaburgalar: **Sadece Delik Delme**

Yukarıda gösterilen bağlayıcı tiplerinde uzunluk bilgileri parça kalınlıklarının değişiminden dolayı yazılmamıştır. Farklı kalınlıklardaki yapısal elemanların montajında bağlayıcı uzunlukları aşağıdaki formülden hesaplanıp RDF, FPDF dosyalarına daha sonra da programlara aktarılmıştır.

$$\text{Kalınlık} = (\text{Perçin Boyu} - 1/16) * 25.4 \quad (6.1)$$

Çizelge 6.1 Perçin boylarına göre kalınlık değişimi

Perçin Boyu (inç)	Kalınlık min (mm)	Kalınlık max (mm)
2	1,587	3,173
3	3,174	4,761
4	4,762	6,348
5	6,349	7,936
6	7,937	9,523
7	9,524	11,111
8	11,112	12,698
9	12,699	14,286
10	14,287	15,873
11	15,874	17,461
12	17,462	19,048

Tezgahların birinci ve ikinci kısım için geliştirilen NC programlarında aşağıdaki proses sırası ve bilgiler verilmiştir.

Birinci kısım programı;

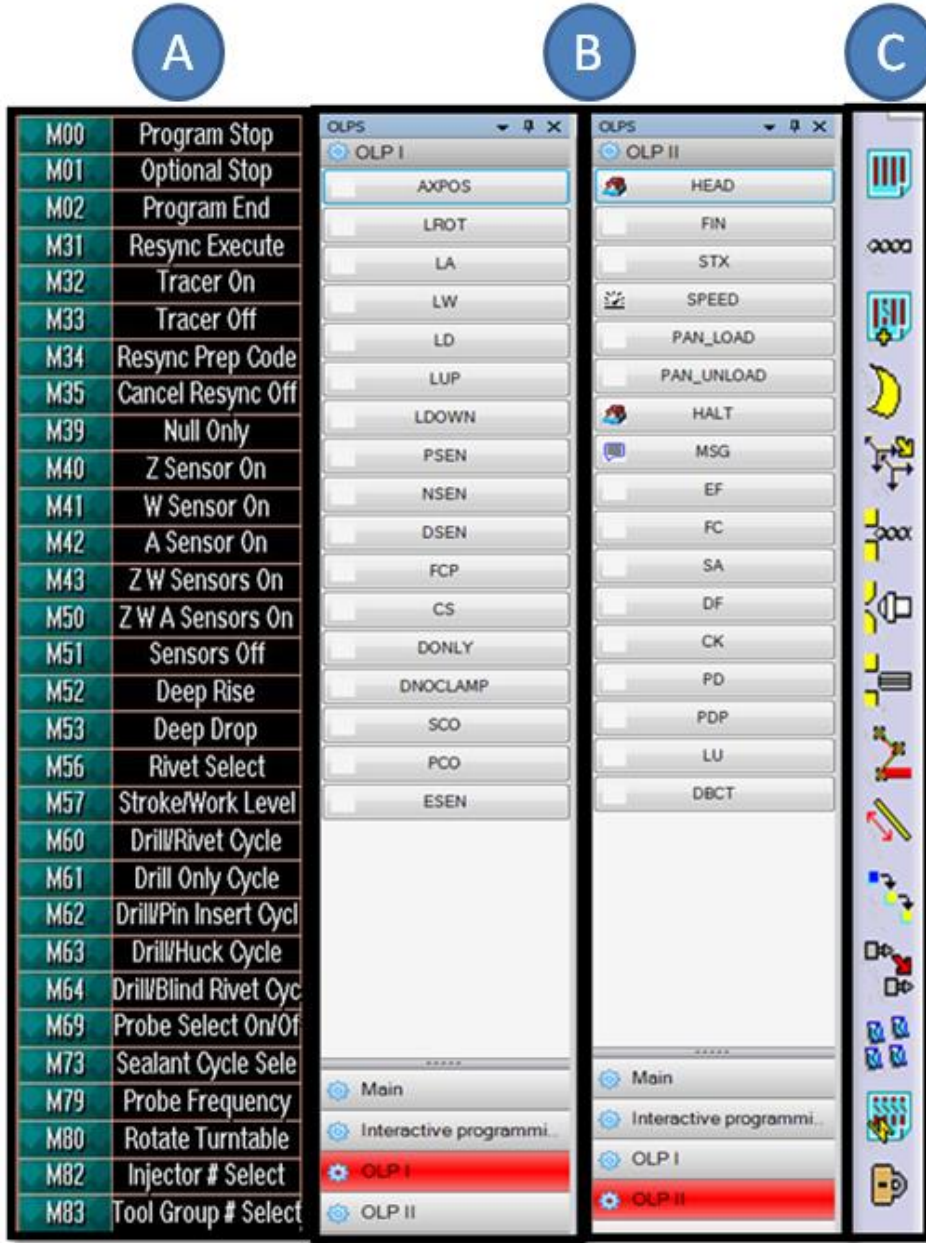
1. Tüm tezgâh ofsetlerinin silinmesi
2. Tezgâhın ana pozisyonuna geçirilmesi
3. Tezgâhın giriş pozisyonuna geçirilmesi
4. Dan8-6 çakı seçimi
5. Dan8-6 ofset anvil seçimi
6. Tezgahın panelde proses başlangıcı için konumlandırılması
7. Panel içerisindeki konumda normalite sensörlerinin açılması
8. Dan 8-6 tipi perçinlerle Kabuk+NC Kaburga montajı
9. Anvilin değiştirilmesi için en alt konuma çekilmesi
10. Dan8-6 düz anvil seçimi
11. Dan 8-6 tipi perçinlerle Kabuk+NC Kaburga+Güçlendirici montajı
12. Anvilin değiştirilmesi için en alt konuma çekilmesi
13. KE6 çakı seçimi
14. 3/16'' düz anvil seçimi
15. Dan 8-6 tipi perçinlerle Kabuk+Güçlendirici montajı
16. Anvilin değiştirilmesi için en alt konuma çekilmesi
17. Panel içerisindeki konumda normalite sensörlerinin kapatılması
18. Operasyonların tamamlanması ile tezgâhın ana pozisyonuna getirilmesi

İkinci kısım programı;

1. Tüm tezgâh ofsetlerinin silinmesi
2. Tezgâhın ana pozisyonuna geçirilmesi
3. Tezgâhın giriş pozisyonuna geçirilmesi
4. Dan8-6 çakı seçimi
5. Dan8-6 ofset anvil seçimi
6. Tezgahın panelde proses başlangıcı için konumlandırılması
7. Panel içerisindeki konumda normalite sensörlerinin açılması
8. Dan 8-6 tipi perçin Kabuk+Güçlendirici+Takviye Kirişleri montajı
9. Anvilin değiştirilmesi için en alt konuma çekilmesi
10. KE5 çakı seçimi
11. 5/32" düz anvilin seçimi
12. KE5 tipi perçinlerle Kabuk+Takviye Kirişleri montajı
13. Anvilin değiştirilmesi için en alt konuma çekilmesi
14. Ofset delici anvil seçimi
15. KE5 perçinler için Kabuk+Sac Metal Kaburgaların Delinmesi
16. Anvilin değiştirilmesi için 500 mm alt konuma çekilmesi
17. KE6 çakı seçimi
18. KE5 tipi perçinler için Kabuk+Sac Metal Kaburgaların delinmesi
19. Anvilin değiştirilmesi için en alt konuma çekilmesi
20. 3/16" düz anvilin seçimi
21. KE6 tipi perçinlerle Kabuk+Güçlendirici montajı
22. Anvilin değiştirilmesi için en alt konuma çekilmesi
23. Panel içerisindeki konumda normalite sensörlerinin kapatılması
24. Operasyonların tamamlanması ile tezgâhın ana pozisyonuna getirilmesi

6.1. Yazılımların Araç Çubukları

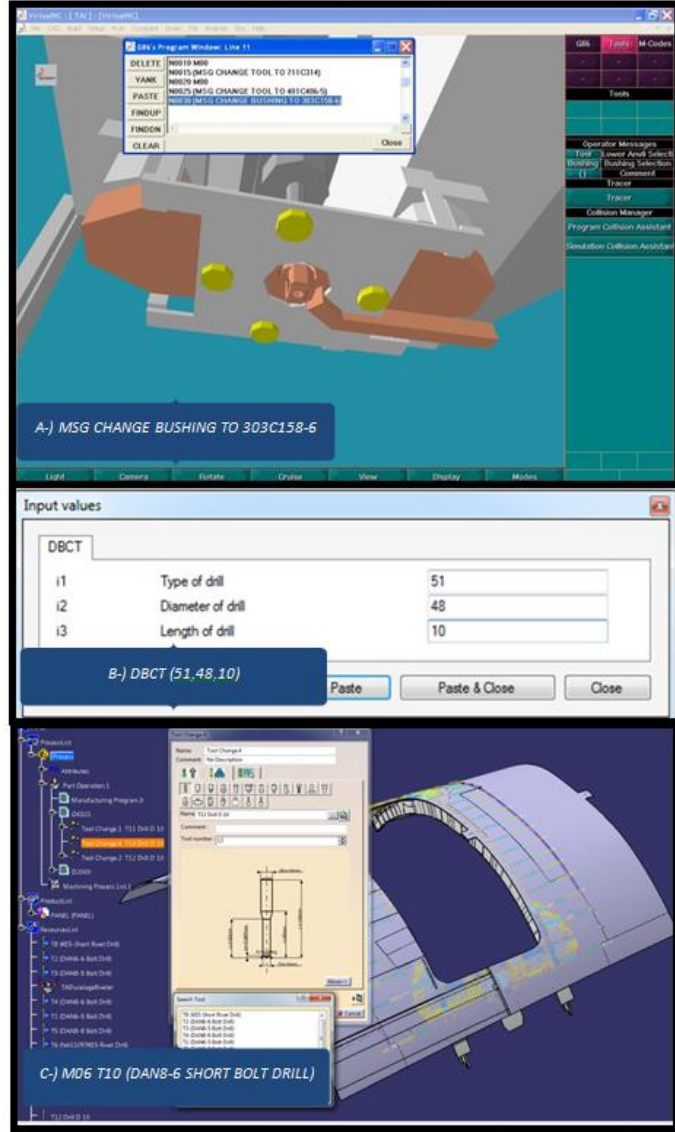
Araç çubukları tezgâh programlarını hazırlamak için kullanılan en etkin araçtır. A ve B tezgâhlarının programı araç çubukları kullanılmadan da hazırlanabilirken, C tezgâhının programlarını araç çubuğu kullanmadan oluşturabilmek mümkün değildir. Bunun sebebi C tezgâhında post alma zorunluluğunun olmasıdır.



Şekil 6.2 Sırasıyla A,B ve C yazılımlarının araç çubukları

6.2. Matkap Seçimi

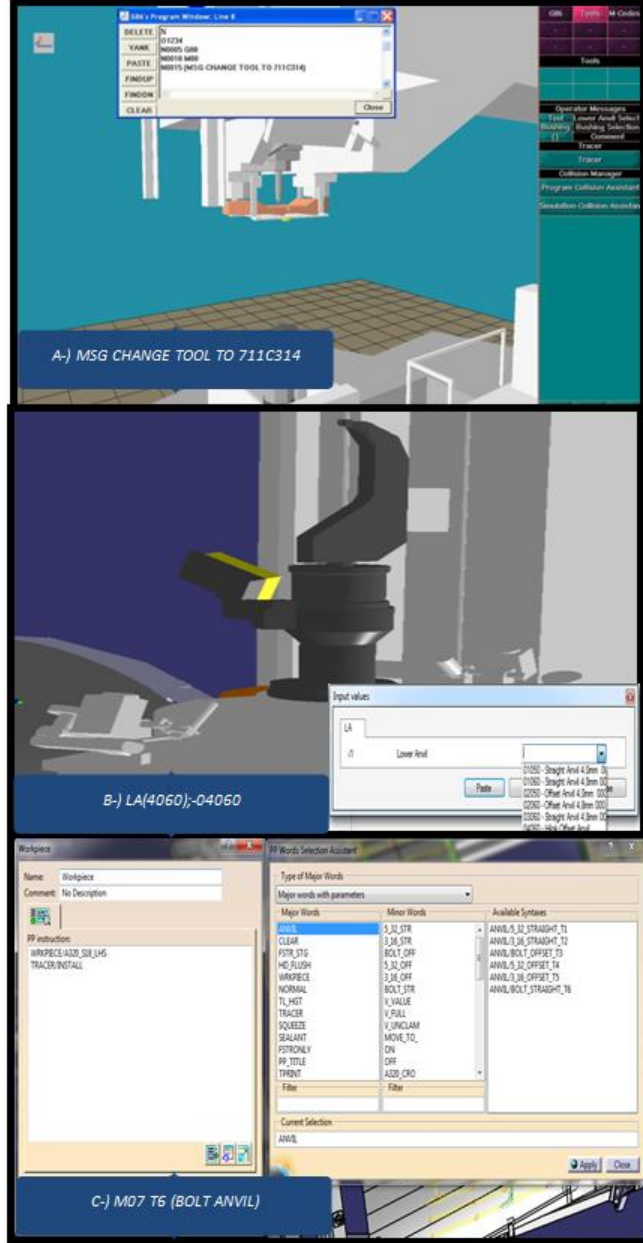
NC programlama metodu geliştirildikten sonra matkapların seçimi Şekil 6.3'de gösterilen komutlarla yapılır. Hangi kesici takımların seçildiği Bölüm 5' te detaylıca anlatılmıştır.



Şekil 6.3 Matkap seçimi

6.3. Anvil Seçimi

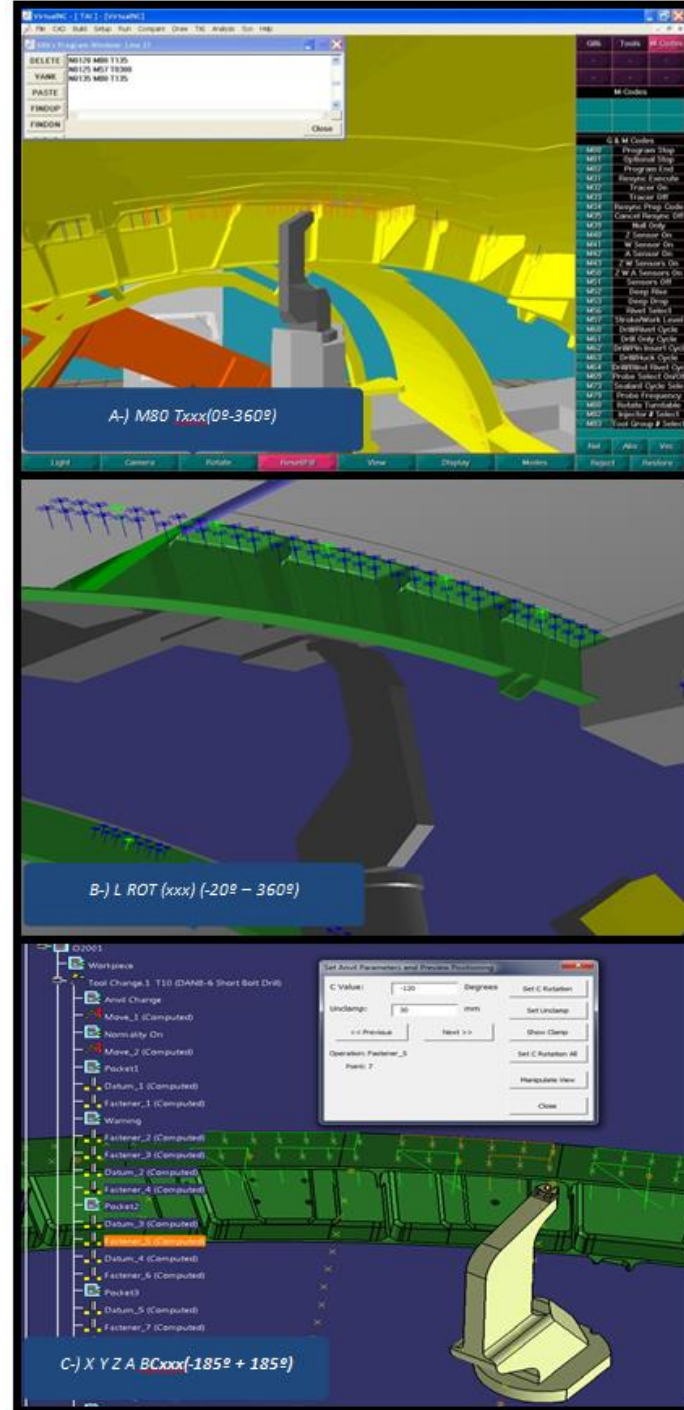
Perçin tipine, çapına göre göre anvil seçimi Şekil 6.4'de gösterilen komutlarla yapılır. Anviller ile ilgili bilgi Bölüm 3'de verilmiştir.



Şekil 6.4 Anvil seçimi

6.4. Anvil Dönüş

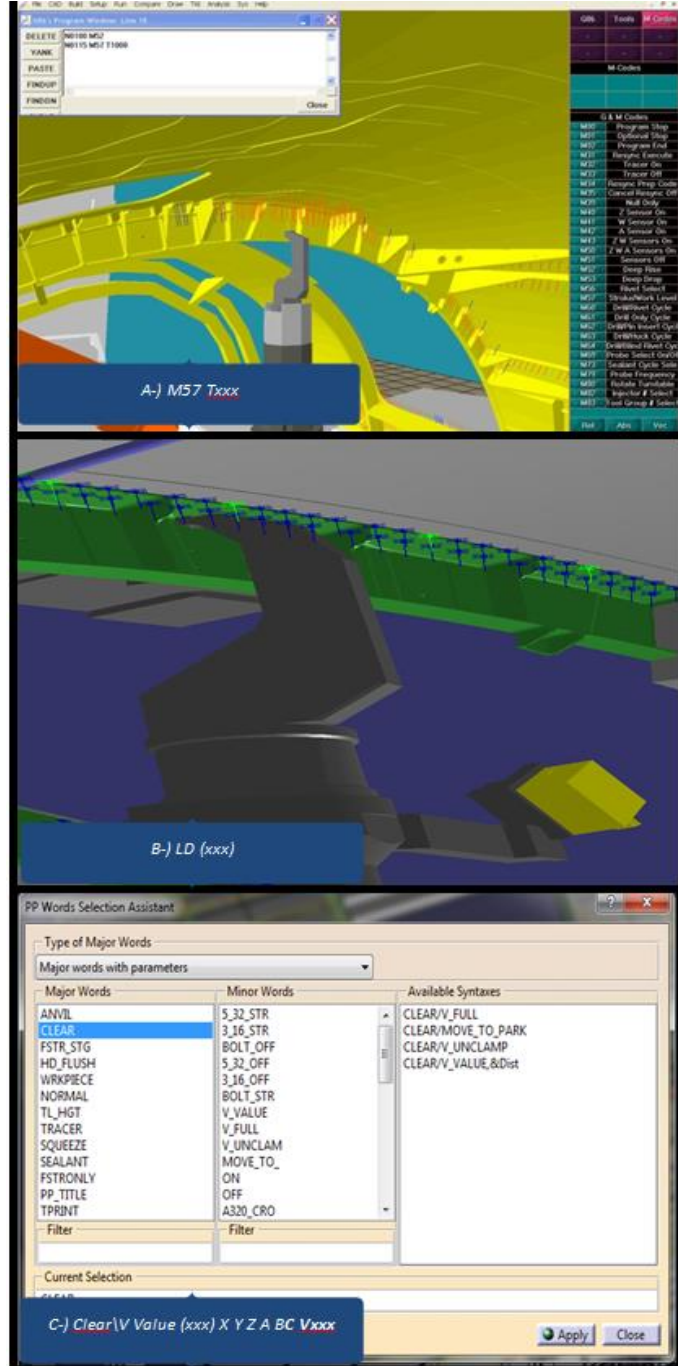
Panel üzerinde montajı yapılacak yapısal parçaların ve anvil geometrisine bağlı olarak anvil dönüşleri Şekil 6.5'te gösterilen komutlarla gerçekleştirilir. A tezgâhında anvil dönüş açıları $0^\circ - 360^\circ$, B tezgâhında $-20^\circ - 360^\circ$, C tezgahında ise $-185^\circ - 185^\circ$ aralığındadır.



Şekil 6.5 Anvil dönüşü

6.5. Anvil Stroku

Uçak paneli üzerinde farklı bölgelerde montaj için hareket etmek gerekirse geçişlerde anvilin takviye kirişlerine, kaburgalara ve diğer yapısal elemanlara çarpmaması için anvil aşağı çekilmelidir. Şekil 6.6'daki komutlar anvilin aşağıya ve yukarıya belirli mesafedeki hareketini kontrol eder.



Şekil 6.6 Anvil stroku

6.6. Tezgâh Eksen Hareketleri

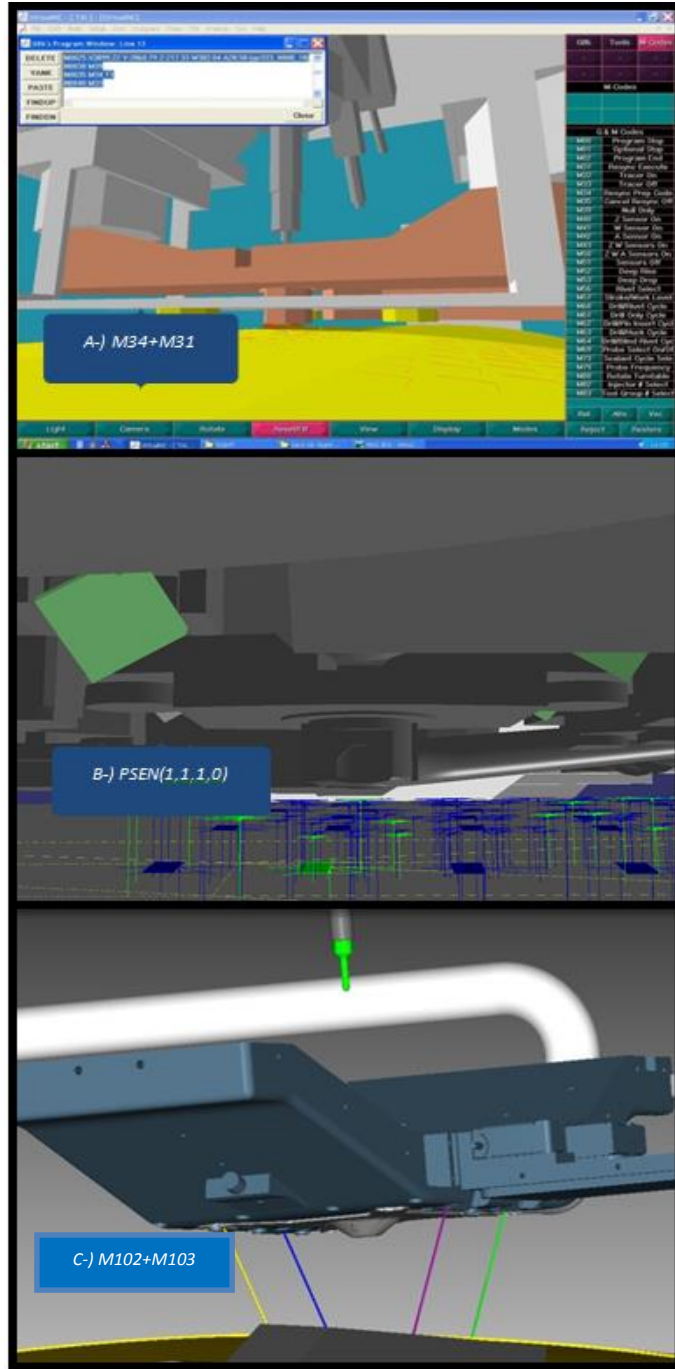
Giriş çıkış pozisyonlarında ya da panel üzerinde bir bağlayıcı noktasından diğer bir bağlayıcı noktasına tezgâh hareketleri Şekil 6.7’de gösterilen komutlarla gerçekleştirilir.



Şekil 6.7 Tezgâh eksen hareketleri komutu

6.7. Referans Delik Bulma

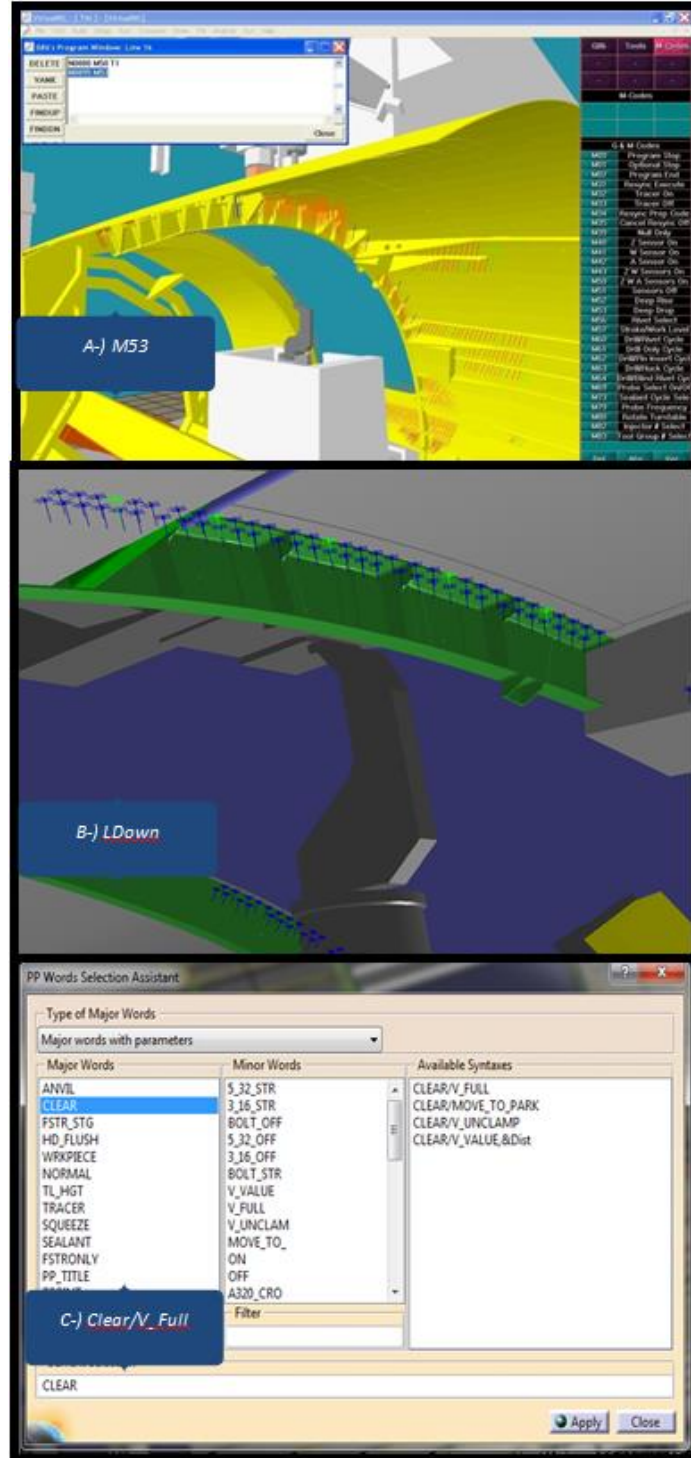
Referans delikler uçak panelindeki kabuk, takviye kirişleri, kaburgalar ve diğer yapısal elemanlarının, otomatik perçin tezgâhına gelmeden önce birbirlerini geçici olarak tutmasını sağlar. Tezgâh bağlayıcıları referans noktalarında koordinatlardan sıfırlar ve bağlayıcıları bu referans noktasını başlangıç noktası olarak yerleştirir. Şekil 6.8’de her üç tezgâhta kullanılan referans delik komutları gösterilmiştir.



Şekil 6.8 Referans delik bulma komutu

6.8. Anvil En Alt Noktaya Çekme

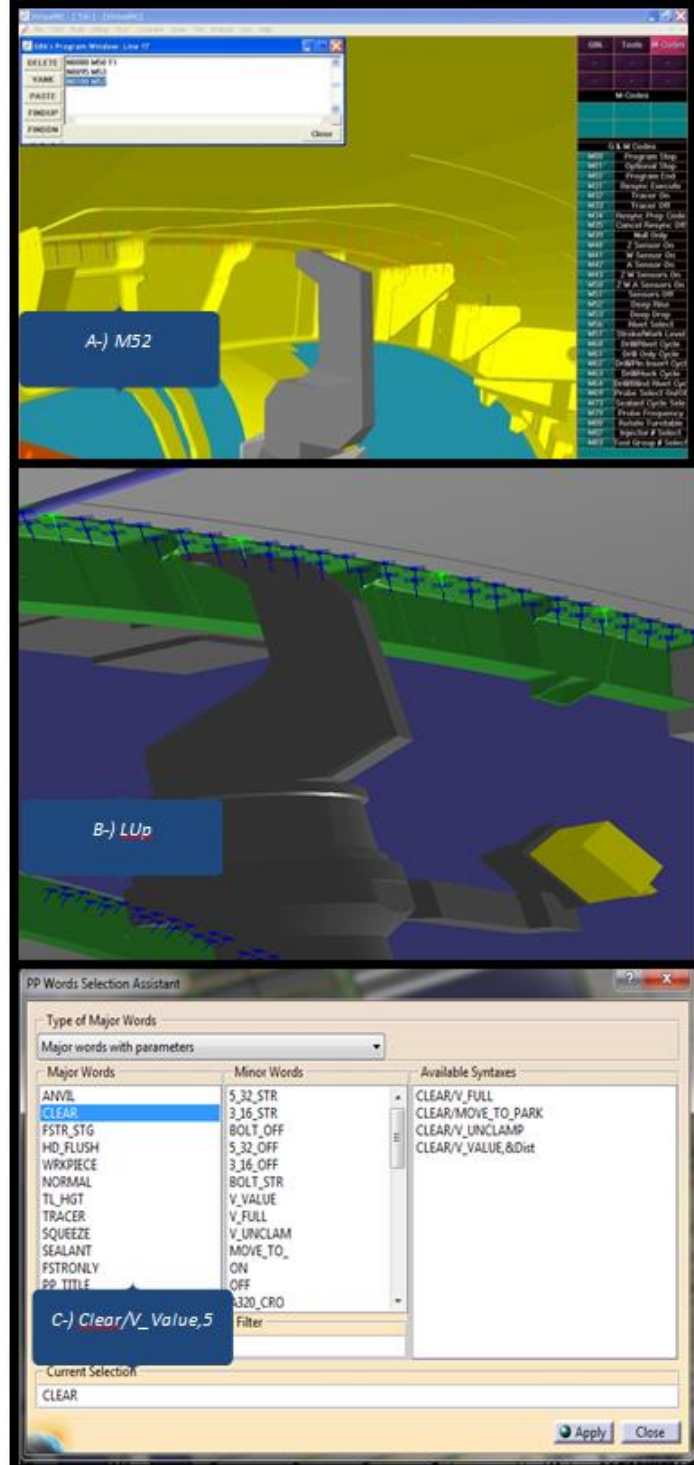
Panelde KE5, KE6 ve DAN8-6 tiplerinde farklı boylarda bağlayıcılar kullanılmaktadır. Panel montajı için farklı bağlayıcı tipine geçilmişse anvil de değişecektir. Anvil değişikliği için Şekil 6.9'da gösterilen komutlar kullanılır.



Şekil 6.9 Anvil en alt nokta konum komutu

6.9. Anvil En Üst konuma Çekme

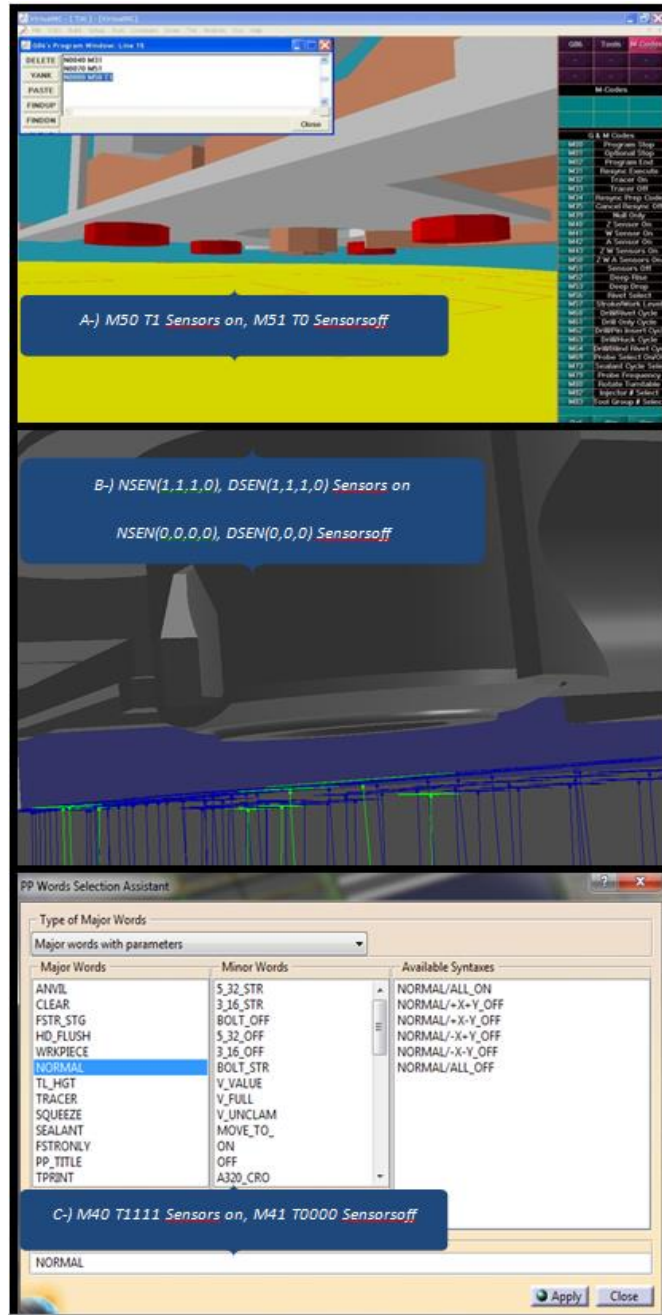
Anvilin en üst konuma çekilmesi programlama esnasında panel ile anvil arasında herhangi bir çarpma olup olmadığının kontrolü için kullanılır. Şekil 6.10'da bu komutlar gösterilmiştir.



Şekil 6.10 Anvil en üst nokta konum komutu

6.10. Normalite Sensörlerini Açma Kapama

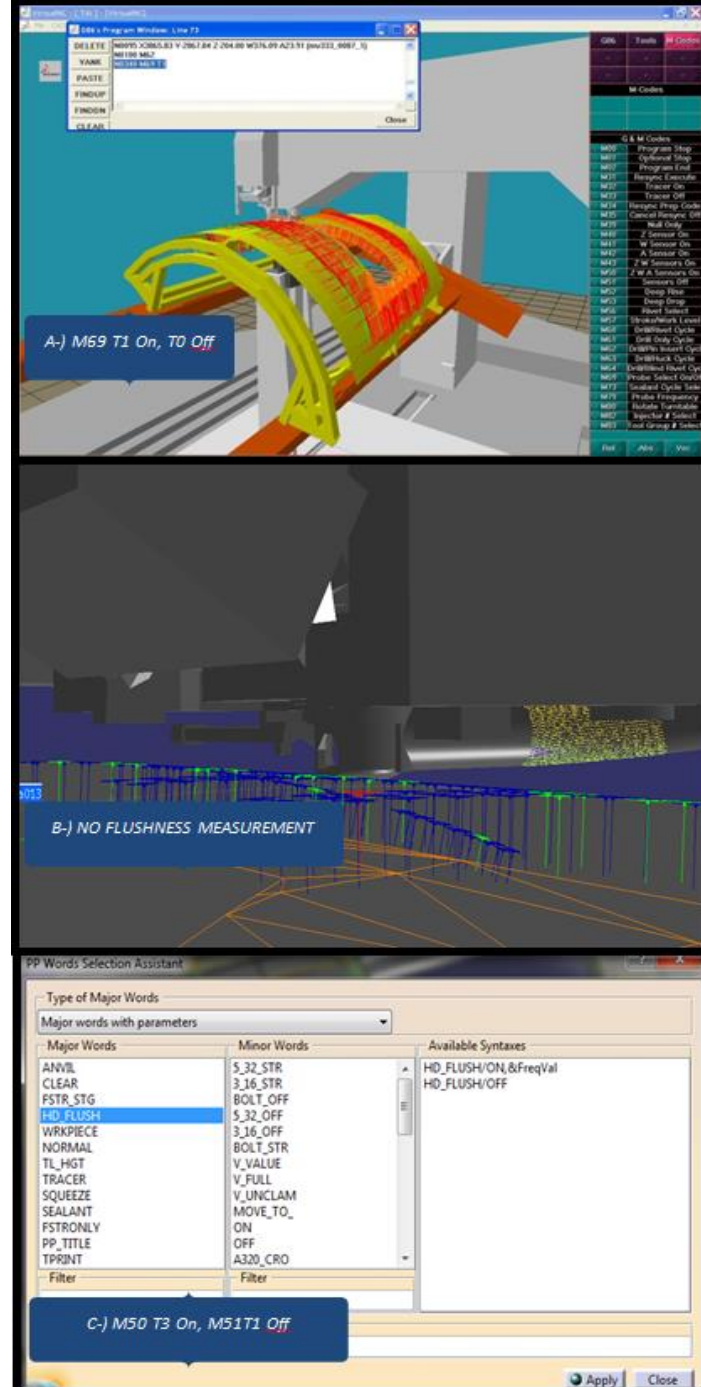
Normalite sensörleri tezgâhın panel geometrisine uygun olarak, tüm bağlayıcı koordinatlarına dik bir şekilde hareket etmesini sağlar. Her üç tezgâhta da dört adet normalite sensörü bulunur. Bu sensörlerin panelin üst yüzeyinden uzaklıkları A tezgahında 10.5 mm, B tezgahında 6 mm, C tezgahında ise 11.85 mm'dir. Şekil 6.11'de normalite sensörlerini aktif ve deaktif etmek için kullanılan komutlar gösterilmiştir.



Şekil 6.11 Normalite sensörlerini açma kapama komutu

6.11. Havşa Yüksekliği Kontrolü

Havşa yüksekliği kontrolü hi-lok perçinleri haricindeki üniversal perçin tiplerinde A ve C tezgâhları tarafından Şekil 6.12’de gösterilen komutlar yardımıyla yapılır. Havşa yüksekliği belirlenen tolerans değerinin dışında ise tezgâh durur ve test kuponlarında havşa yüksekliği ayarları tekrar yapılır.



Şekil 6.12 Havşa yüksekliği kontrol komutları

6.12. Kenar Mesafe İzleyici

Kenar mesafe izleyici aygıtları alt anvilin döner tablasına yerleştirilir ve takviye kirişleri boyunca bağlayıcıların aynı hat üzerinde yerleştirilmesini sağlar. Takviye kirişlerinin yanal yüzeyinden anvili 10 mm öteleyerek hep aynı mesafede prosesin yapılması mantığıyla çalışır. Referans deliklerde sıfırlanan koordinatlara yardımcı olarak görev yapar. Şekil 6.13' de kenar mesafe izleyici komutları gösterilmiştir.



Şekil 6.13 Kenar mesafe izleyici komutları

6.13. Gagalama Yöntemiyle Delme

Montajı yapılan yapısal parçaların kalınlıklarının arttığı durumlarda (>14 mm), çakı ömrünü uzatmak ve delme proseslerinin sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak için tezgâhta gagalama yöntemi kullanılır. Derin delme ve talaş kırarak delme adıyla da anılan gagalama yöntemiyle delme Şekil 6.14'te görüldüğü üzere A tezgâhında yoktur. B tezgâhında program komutlarıyla yapılır. C tezgâhında ise belirlenen kalınlık değerleri aşıldığı zaman otomatik olarak devreye girer.



Şekil 6.14 Gagalama yöntemiyle delme komutu

6.14. Delme ve Perçinleme

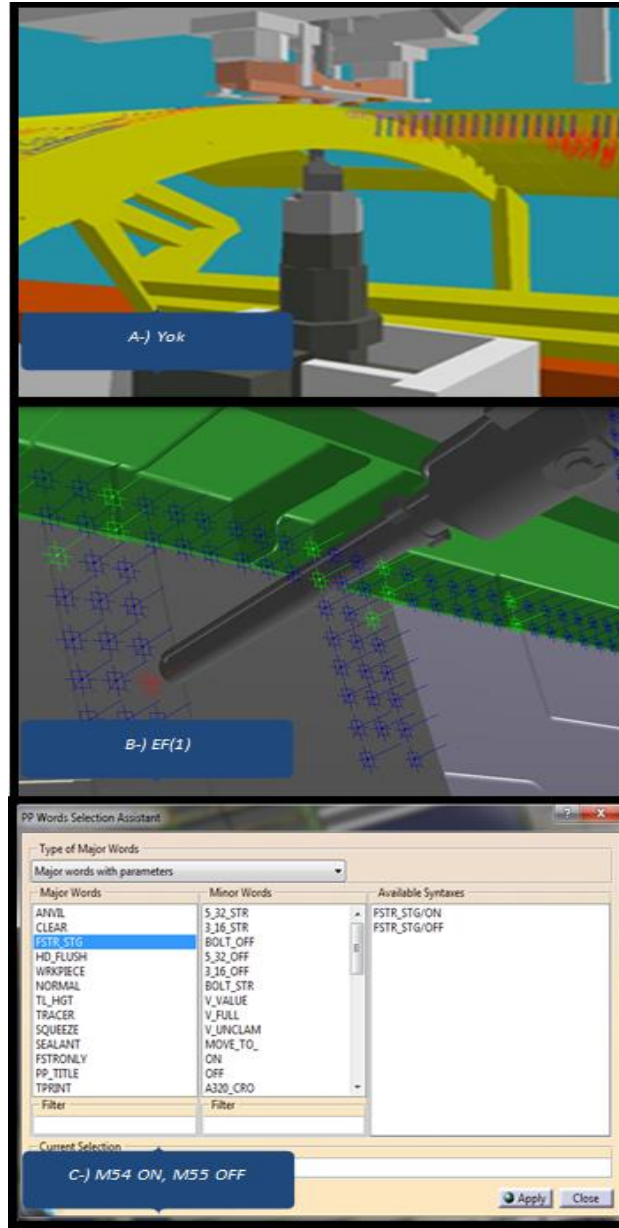
Çakı belirtilen koordinatlarda delme ve havşa açma işlemini gerçekleştirir, üst ve alt anvil parçayı baskı uygulayarak parçaların arasına çapak girmesini engeller. Sızdırmazlık malzemesi tüpü, havşaya dört kenarından malzemeyi püskürtür, perçini yerleştirilir. Alt anvil ezme işlemiyle tüm prosesi tamamlar. Bu işlemlerin hepsi ya da birkaçı Şekil 6.15'te gösterilen komutlarla yapılır.



Şekil 6.15 Delme ve perçinleme komutları

6.15. Kalınlık Değişimlerinde Perçin Yedekleme

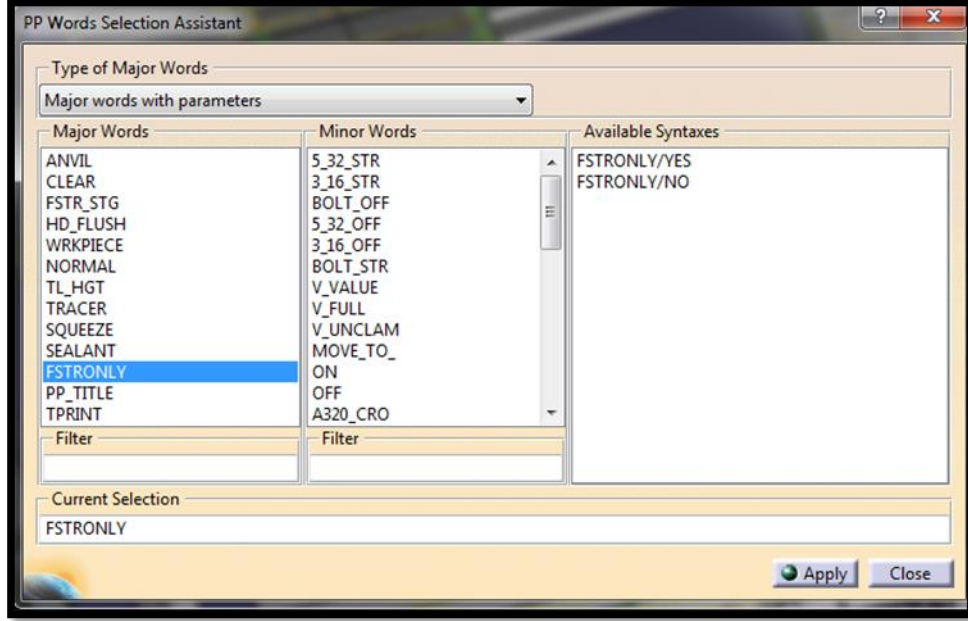
Montajı yapılacak yapısal elemanlarda farklı kalınlıklar bulunur. Farklı kalınlıklar perçin boyunda da farklılık oluşturur. Tezgah aynı boyda perçinleri yerleştirirken kalınlık değiştiğinde bir üst boy perçini çağırır ve tutucu ağızdaki alt boy perçin atılır, perçin boşa gider. Bu perçinin atılmasını engellemek için Şekil 6.16'daki komutlar kullanılır ve kalınlık değişimi olduğu anda tezgah kalınlığa uygun perçini çağırarak yerleştirir. Bu komutlar A tezgahında mevcut değildir. A tezgahında NC programlama metodunun etkin bir şekilde kullanılmasıyla perçin israfı önlenir.



Şekil 6.16 Kalınlık değişimlerinde perçin yedekleme komutu

6.16. Delikli Bölgeye Perçin Yerleştirme

Panelde daha önce delinen ve perçin yerleştirilmesi gereken bölgeler varsa Şekil 6.17’de gösterilen komutla sadece C tezgahında bu işlem gerçekleştirilebilir. Sıkça kullanılan bir komut değildir. Elle delinen delikler çok stabil olmalıdır. Bu da komutun kullanılmasını zorlaştırmaktadır.



Şekil 6.17 Delikli bölgeye perçin yerleştirme

Çizelge 6.2 Üç tezgâh için program komutlarının karşılaştırılması

PROGRAM KOMUTLARI	TEZGÂH A	TEZGÂH B	TEZGÂH C
Matkap Seçimi	Msg Change Bushing to xxx	DBCT(x,x,x)	M06 Txx
Anvil Seçimi	Msg Change Tool to xxx	LA (xxx)	M07 Txx
Anvil Dönüşü	M80 Txxx	L ROT (xxx)	XYZAB Cxx
Anvil Stroku	M57 Txxx	LD (xxx)	Clear\V Value, xxx
Anvil En Alt Konum	M53	LDown	Clear\V_Full
Anvil En Üst Konum	M52	LUp	Clear\V Value, 5
Tezgâh Eksen Hareketleri	Tag+BN+M39	AXPOS(XYZAW) +BN	G100(XYZABCV)
Normalite Sensörleri	M50 Tx	DSEN(x,x,x,x) NSEN(x,x,x,x)	M40 Txxxx
Referans Delik Bulma	M34+M31	PSEN(x)	M102+M103
Delme ve Perçinleme	M60 M61 M62	CS(x) CSONLY CSONLYNOCLAMP	G160 G161 G162 G163
Gagalama ile Delme	-	PD(x,x,x,x)	Kalınlık Ölçümü ile Otomatik
Deliklere Perçin Yerleştirme	-	-	FSTR_ONLY
Anvil Basmadan Perçin Yerleştirme	-	CSONLYNOCLAMP	-
Kalınlık Değişimlerinde Perçin Yedekleme	-	EF(x)	FSTR_STG
Havşa Yüksekliği Ölçüm	M69 Tx	-	M50 T3 M51 T1
Kenar Mesafe İzleyici	M32 M33	ESEN(x,x,x,x)	M41 M141

*BN=Bağlayıcı Noktası Kimliği (Point ID)

7. SİMÜLASYONLAR

Havacılık sektöründe hatalar büyük maliyet getirir. Bu maliyetleri önlemek için önceden bazı tedbirlerin alınması gerekmektedir. Otomatik perçin tezgâhı ile panel üretimi sıfır hata ile mümkündür. Yazılan programların doğruluğu simülasyon programları ile kontrol edilir.

Simülasyon programlarının önlediği başlıca hatalar;

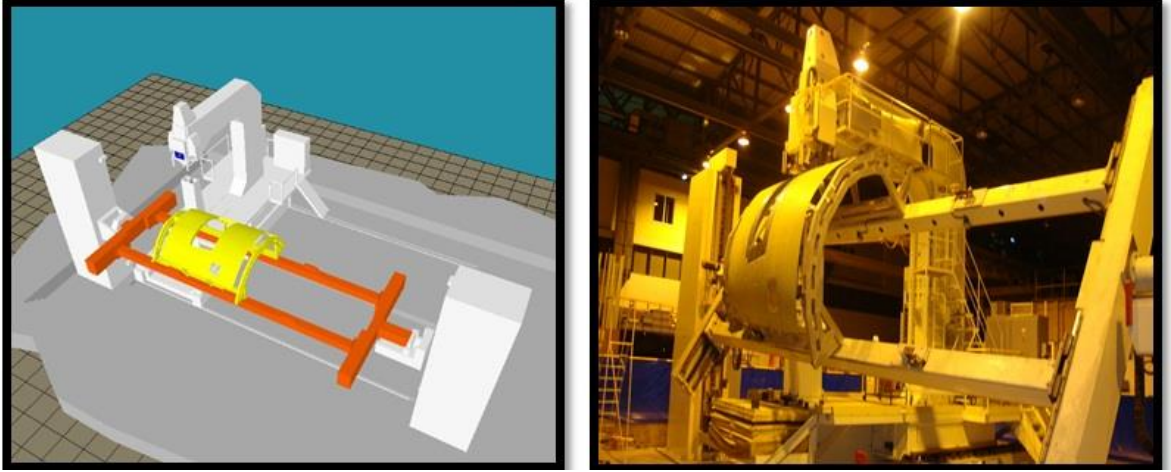
- Bağlayıcıların panel üzerindeki yanlış pozisyonları
- Eksik delikler
- Yanlış delik çapları
- Aynı pozisyona birden fazla delik delme
- Yanlış malzeme seçimi
- Bir pozisyon için yanlış bağlayıcı
- Farklı kalınlıklar için aynı boyda bağlayıcı kullanımı
- Daha önce bağlayıcı yerleştirilen yerde prosesi tekrarlama
- Tezgâhın her türlü parçasının, uçak parçası ya da panel tutma aparatlarıyla çarpışması

Bu tezde otomatik perçin tezgahlarında yazılan programların doğruluğunun kontrol edilmesi için üç farklı simülasyon programı kullanılmıştır. Bunlar;

1. VNC Delmia: NC programların hazırlanmasında kullanılan yazılımın adıdır. Hem program yazmak hem de simülasyonu görmek için kullanılır.
2. B OLPS : NC programların hazırlanmasında kullanılan yazılımın adıdır. Hem program yazmak hem de simülasyonu görmek için kullanılır.
3. Vericut7.2 : Sadece simülasyonu görmek için kullanılır.

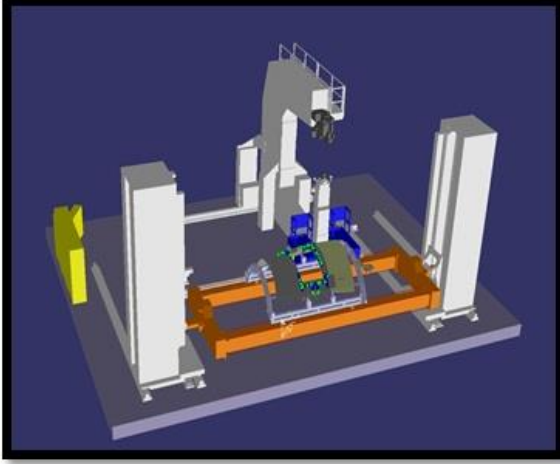
VNC Delmia ile simülasyona başlamadan önce sisteme daha önce uçak paneli modellerinin üç boyutlu geometrik bilgilerini taşıyan STL dosyası yüklenir. Daha sonra bağlayıcıların koordinatları ve tiplerinin bilgilerini taşıyan yazı formatındaki RDF programa tanıtılır. Bu işlemler yapıldıktan sonra programın çarpışma tespitini yapabilmesi için tezgâh parçalarının, panel ve paneli tutan aparatlarla çarpışma kontrolleri tanımlanır. Hazırlanan NC program simülasyon programına yüklenir ve

simülasyona başlanır. NC programdaki hatalar yapılan simülasyon ile tespit edilir ve programda gerekli güncellemeler yapılarak hatalar sıfırlanincaya kadar aynı işlemler tekrar edilir. Tezde yapılan uçak paneli için simülasyon 4 hafta sürmüştür. VNC Delmia diğer simülasyon programlarından nispeten daha yavaş ve kısıtlı (istenilen satırda simülasyonu başlatma, istenilen çakı değişiminde simüle etme, çarpma meydana geldiğinde renk değişiminden öte detaylı bilgi verme vs.) olmasına rağmen güvenilir bir yazılımdır.



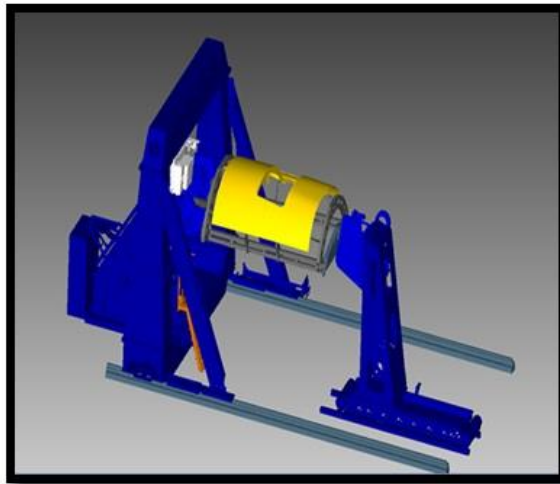
Şekil 7.1 VNC Delmia ile simülasyon

B OLPS ile simülasyon da VNC Delmia ile çok benzerlik gösterir. Simülasyona başlamadan önce sisteme uçak panelinin üç boyutlu geometrik bilgilerini içeren CATIA modeli yüklenir, ardından bağlayıcıların koordinatları ve tiplerinin bilgilerini taşıyan yazı formatındaki FPDF yüklenir. Çarpışma tespitini yapabilmesi için tezgâh parçalarının, panel ve paneli tutan aparatlarla çarpışma kontrolleri tanımlanır ve hatalar sıfırlanincaya kadar simülasyon tekrar edilir. B OLPS görsel açıdan oldukça üst düzeyde, esnek, aynı zamanda çarpma olmadan önce yaklaşma uyarısı veren ve çarpma meydana geldiğinde en detaylı bilgileri veren yazılımdır. Tezde yapılan uçak paneli için simülasyon 2 hafta sürmüştür. VNC Delmia programından hızlı olmasına rağmen Vericut7.2 programından yavaş ve güvenilir bir yazılımdır.



Şekil 7.2 B OLPS ile simülasyon

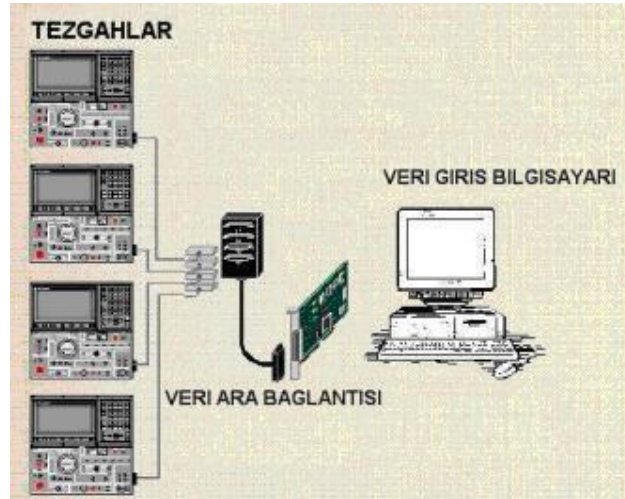
Vericut7.2 ile simülasyona başlamadan önce sisteme VNC Delmia programındaki gibi STL dosyası yüklenir. Fakat bu programa bağlayıcı veri dosyalarını tanıtmaya gerek yoktur. Bağlayıcı dosyalarına ihtiyaç duyulmaması simülasyon modifikasyonlarında ve değişikliklerde büyük kolaylık ve esneklik sağlar. Diğer programlardaki gibi çarpışma tespiti için tezgâh ve parçalar arasındaki ilişkiler tanımlanır, ayrıca bu tanımlamalara yaklaşma ve tolerans değerleri girilir. NC programda hatalar tamamen giderilinceye kadar simülasyonlara devam edilir. Tezde yapılan uçak paneli için simülasyon 1 hafta sürmüştür. Vericut programı görsel açıdan iyi, esnek, güvenilir ve VNC Delmia ve B OLPS'e nispeten en hızlı yazılımdır.



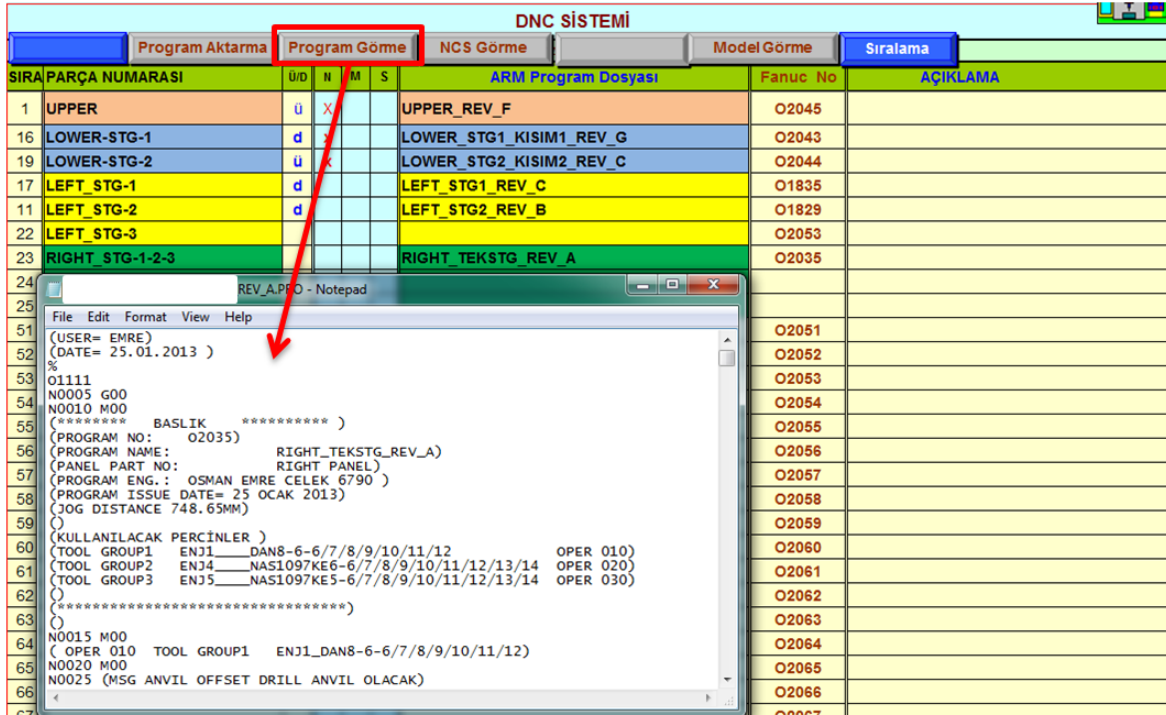
Şekil 7.3 Vericut7.2 ile simülasyon

7.1. DNC Sistemi ile Program Aktarımı

DNC, doğrudan nümerik kontrol veya dağıtılmış nümerik kontrol olarak tanımlanmaktadır. Doğrudan veya dağıtılmış nümerik kontrol, imalat sanayide nümerik kontrollü tezgâhlar için yazılan programların merkezî bir bilgisayarda depolanarak ilgili tezgâhlara gerektiği zaman yüklenmesi veya tezgâhlardan merkezî bilgisayara geri gönderilmesi işlemidir. Bir bilgisayar yardımı ile bir ya da birden fazla tezgâhın kontrol edilmesidir. DNC yöntemi ile bilgisayarlara farklı biçimlerde bilgi girilebilmektedir. En gelişmiş olan sistem Şekil 7.4' te gösterildiği gibi yardımcı DNC aktarım programı kullanarak birçok bilgisayara bilgi göndermektir. Otomatik perçin tezgâhlarında da daha önce NC Programlama Bölümü'nde kullanılan bir DNC sistemi yeni sisteme adapte edilmiş ve program ofisinden imalat alanına programlar hatasız ve hızlı bir şekilde gönderilmiştir.



Şekil 7.4 DNC veri aktarma yöntemi ve DNC ara yüzü



Şekil 7.5 DNC ara yüzü

DNC sisteminin kazandırdığı avantajlar şu şekildedir:

- USB ile imalat alanına program aktarmaya göre ortalama 10 dakika zaman kazandırmaktadır.
- Tezgâh kontrol sistemlerinden kesici takım ayarlarının yapılma zamanını 20 dakika kısaltmaktadır.
- Program farklılıkları oluştuğunda etkin bir şekilde incelenebilir.
- Hatalı ve eski revizyonlu program kullanımından kaynaklanabilecek yanlış uçak paneli üretimini, bu üretimden kaynaklanabilecek zaman kaybını etkin bir şekilde engeller.

8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Üç otomatik perçin tezgahının da performanslarının ölçümleri ve karşılaştırmaları için 8 mm kalınlığında, 2024 T1 alüminyum alaşımı test plakaları hazırlanmıştır. Bu plakalarda deneme yapmadan önce tezgahların kesme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla Şekil 8.1' deki plakaya farklı devir ve ilerleme hızlarında delikler delinmiş, delik kalitesi, diklik, silindiriklik, çapak gibi değerler göz önünde bulundurulurken en uygun kesme parametresi tespit etme çalışmaları yapılmıştır. Kesme parametrelerinde ilerleme hızı, takım ömrünün belirlenmesinde temel faktördür ve güç tüketimini de etkiler.

Aşırı yüksek kesme hızları;

- Matkap üzerinde hızlı serbest yüzey aşınmasına,
- Kesme kenarlarında plastik deformasyona,
- Düşük delik kalitesine,
- Tolerans dışı sonuçlara

yol açar.

Çok düşük kesme hızları ise;

- Matkap üzerinde talaş yığılması oluşumuna,
- Talaş tahliyesinin olumsuz etkilenmesine,
- Düşük verimliliğe,
- Delik başına yüksek maliyete

sebep olur.

İlerleme hızı ise talaş oluşumu için belirleyici bir faktördür. Isıl ve mekanik gerilmelere yol açar.

Yüksek ilerleme hızları;

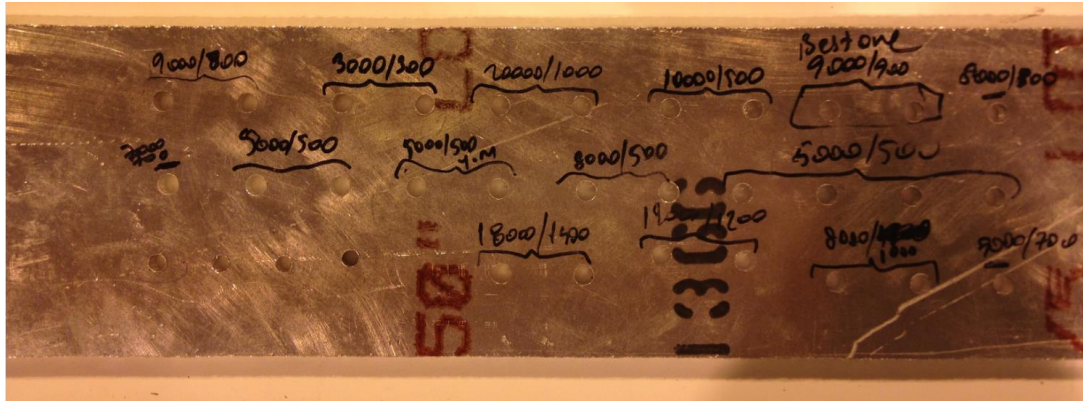
- İyi talaş kontrolü,
- Daha düşük kesme süresi,
- Daha yüksek matkap kırılma riski,
- Daha kötü delik kalitesi

demektir.

Düşük ilerleme hızları,

- Daha uzun talaş,
- Daha iyi delik kalitesi,
- Takım aşınmasında daha hızlı artış,
- Daha uzun kesme süresi,
- Delik başına daha yüksek maliyet

anlamına gelir.



Şekil 8.1 Kesme parametreleri belirleme çalışmaları

Çizelge 8.1 Kesme parametreleri değerleri

Perçin ve Matkap Tipi	Devir Sayısı (rpm)	İlerleme Hızı (mm / dk)
KE5-Uzun (>14 mm)	16000	1500
KE6-Uzun (>14 mm)	16000	1500
DAN8-6-Uzun (>14 mm)	16000	1500
KE5-Kısa (<14 mm)	11000	900
KE6-Kısa (<14 mm)	11000	900
DAN8-6-Kısa (<14 mm)	11000	900

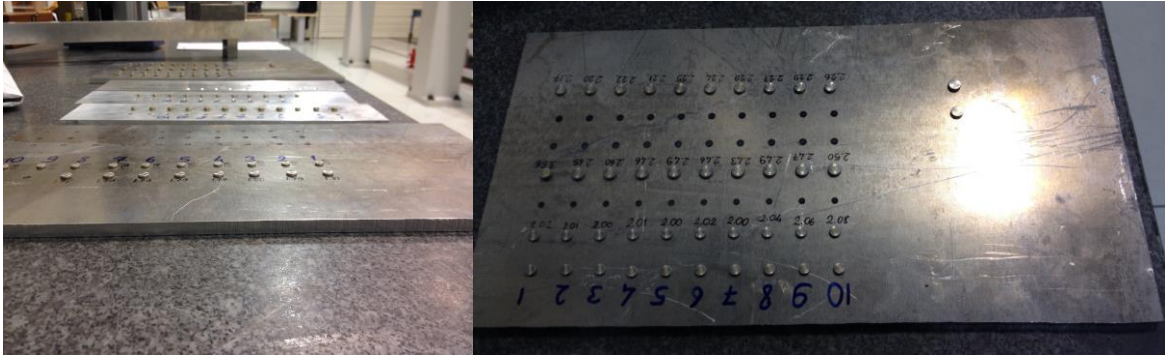
Çizelge 8.1 incelendiğinde yapılan denemeler sonucunda en uygun kesme parametreleri kalınlığın 14 mm'den küçük olduğu bölgelerde kısa çakı kullanılarak 11000 devir ve 900 mm/dk ilerleme hızı, kalınlığın 14 mm'den büyük olduğu bölgelerde ise uzun çakı kullanılarak 16000 devir ve 1500 mm/dk olduğu belirlenmiştir. Bu parametrelerin çeşitli durumlara göre değiştiği durumlar olabilir. Farklı firmalardan temin edilen kesici takımlar farklı kesme parametre değerleri

verebilir ama elde edilen değerlerden çok büyük sapmalar oluşturacak bir durum söz konusu değildir.

Şekil 8.2'deki test plakalarına ise A, B ve C tezgahlarında DAN8-6, KE5 ve KE6 perçin tipleri için onar adet delik delinmiş, KE5 ve KE6 perçin tipleri içinse ayrıca onar adet perçin çakılmıştır. Üç farklı tezgahta, üç farklı plakayla yapılan denemelerde çizelge 8.2'deki parametreler incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Çizelge 8.2 Geometrik karakteristik ölçüm tablosu

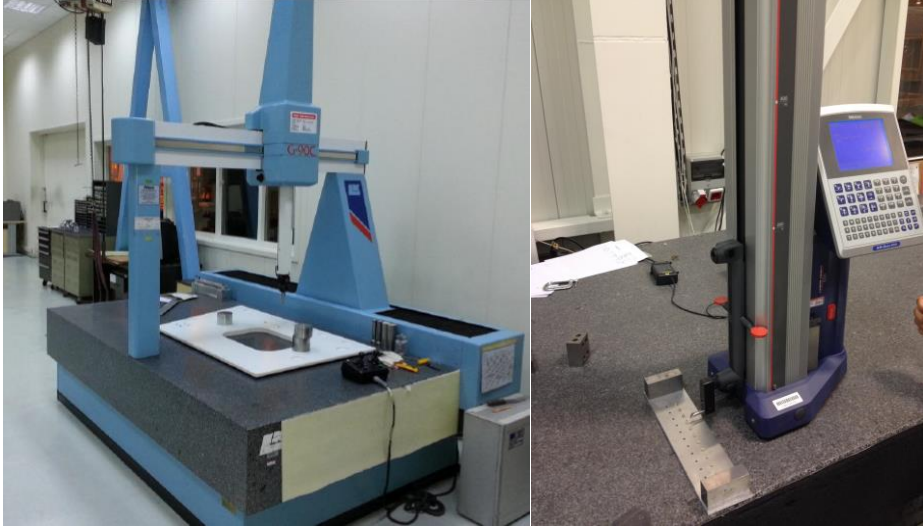
Perçin-Delik	Delik Çapı	Dairesellik	Diklik	Konsantriklik	Düğme Yüksekliği	Havşa Derinliği
KE5-Delik	✓	✓	✓	✓	x	x
KE6-Delik	✓	✓	✓	✓	x	x
DAN8-6-Delik	✓	✓	✓	✓	x	x
KE5-Perçin	x	x	x	x	✓	✓
KE6-Perçin	x	x	x	x	✓	✓
DAN8-6-Perçin	x	x	x	x	x	x



Şekil 8.2 Geometrik karakteristik ölçümlerin yapıldığı test plakaları

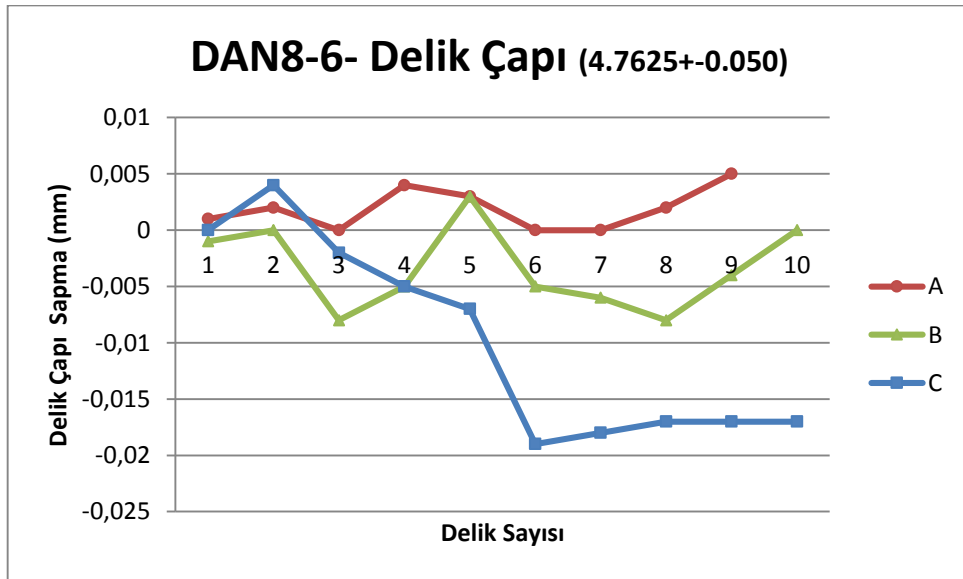
Geometrik karakteristik ölçümlerinde deliklerle ilgili olan delik çapı, dairesellik, diklik, konsantriklik değerleri koordinat ölçüm tezgahında, düğme yüksekliği ve havşa derinliği değerleri ise dijital mihengirle ölçülmüştür. CMM ölçüm güvenilirliği ve tekrarlanabilirliği açısından, mekanik dokunuşlarla ölçüm yapma mantığı nedeniyle, halihazırda kullanılan en yaygın ve hassas ölçüm aletidir. Dijital mihengir ise kullanımı kolay ve üç basamağa kadar hassas ölçüm yapabilme

kabiliyetine sahiptir. Şekil 8.3'de ölçümlerin yapıldığı CMM ve dijital mihengir gösterilmiştir.

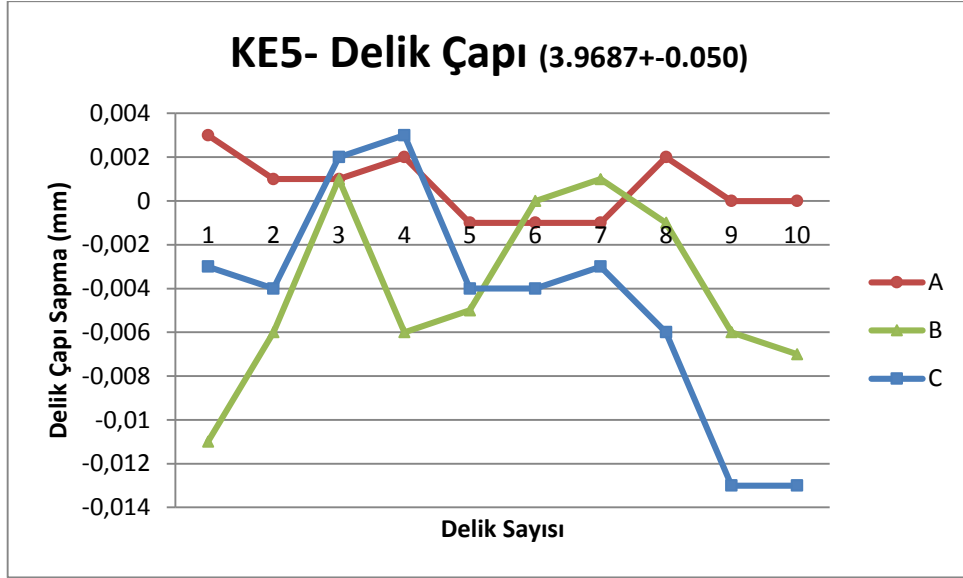


Şekil 8.3 Koordinat ölçüm tezgâhı ve dijital mihengir

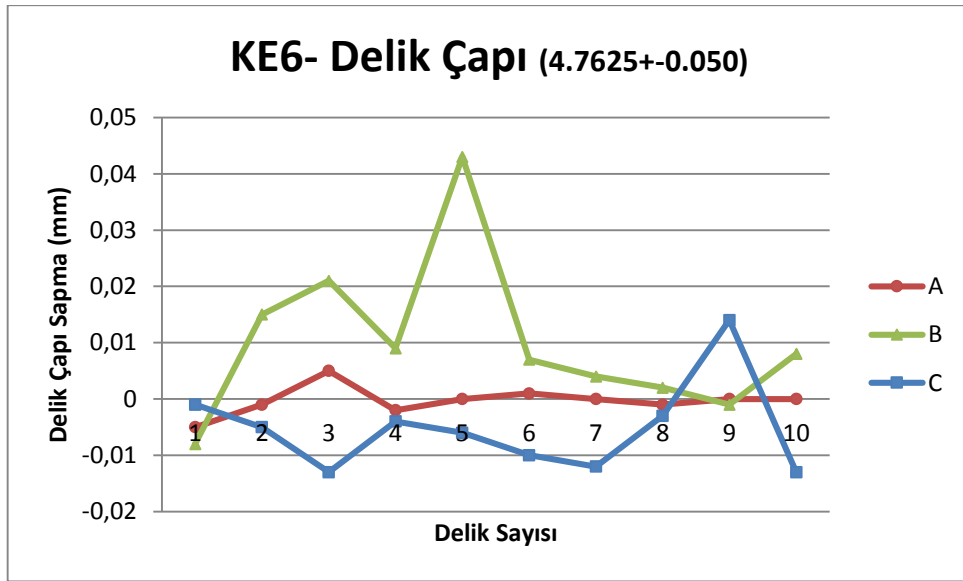
Üç farklı A, B ve C otomatik perçin tezgahları için hazırlanan test plakalarındaki ölçüm sonuçlarının grafikleri aşağıdaki gibidir.



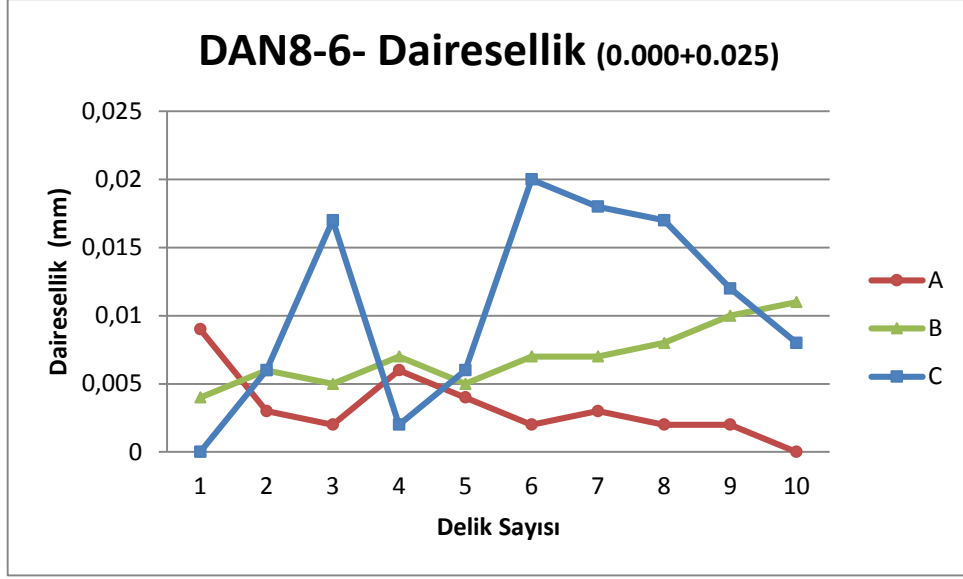
Şekil 8.4 DAN8-6 perçin tipi için delik çapı ölçüm grafiği



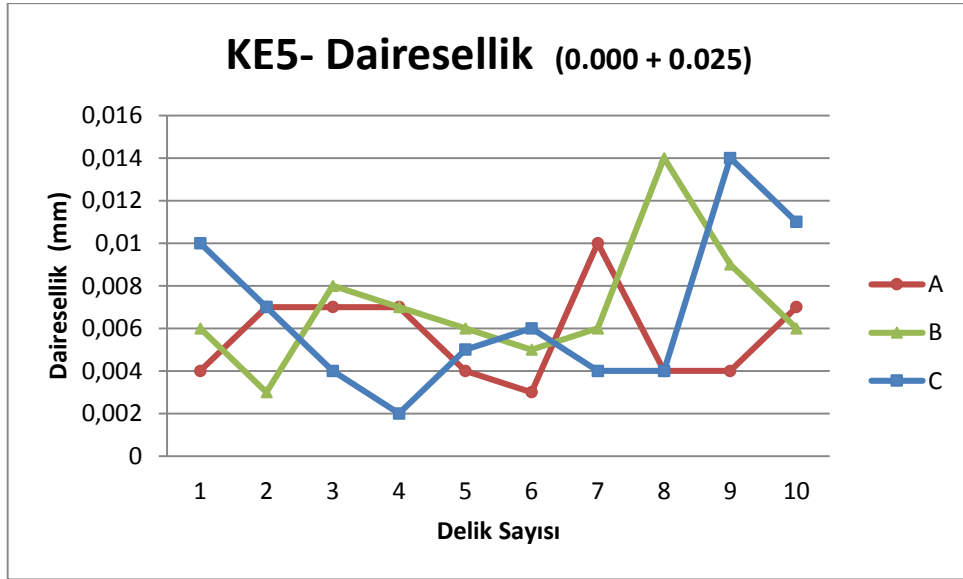
Şekil 8.5 KE5 perçin tipi için delik çapı ölçüm grafiği



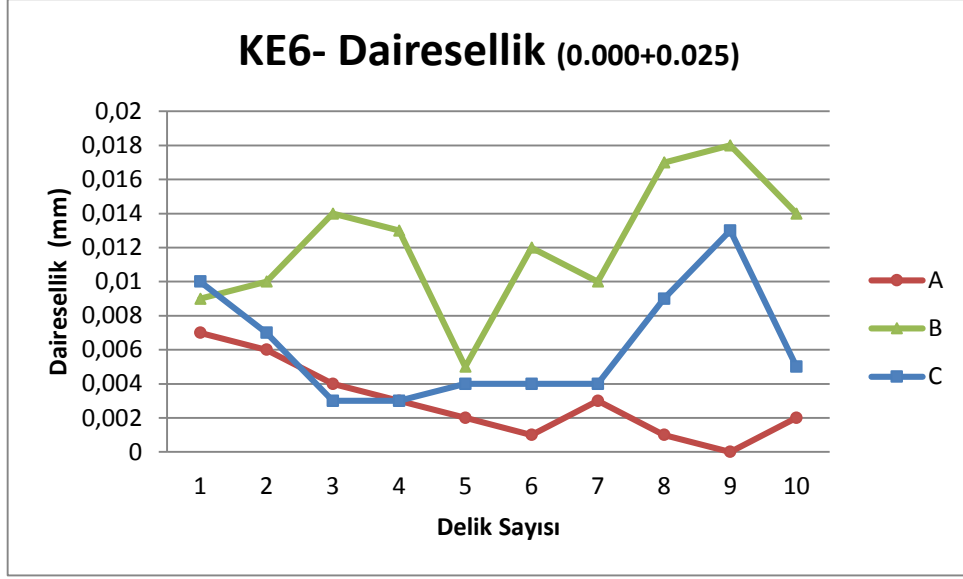
Şekil 8.6 KE6 perçin tipi için delik çapı ölçüm grafiği



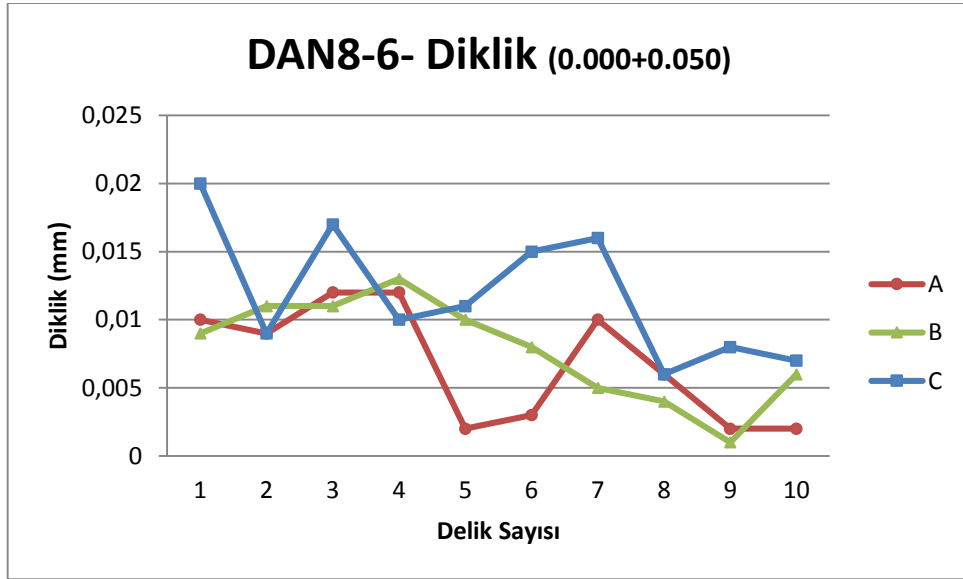
Şekil 8.7 DAN8-6 perçin tipi için delik dairesellik ölçüm grafiği



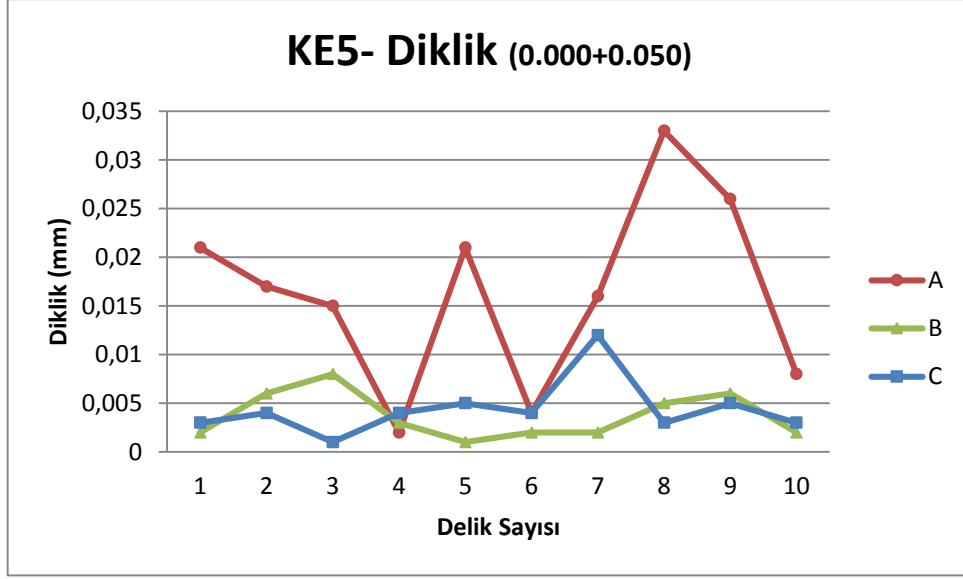
Şekil 8.8 KE5 perçin tipi için delik dairesellik ölçüm grafiği



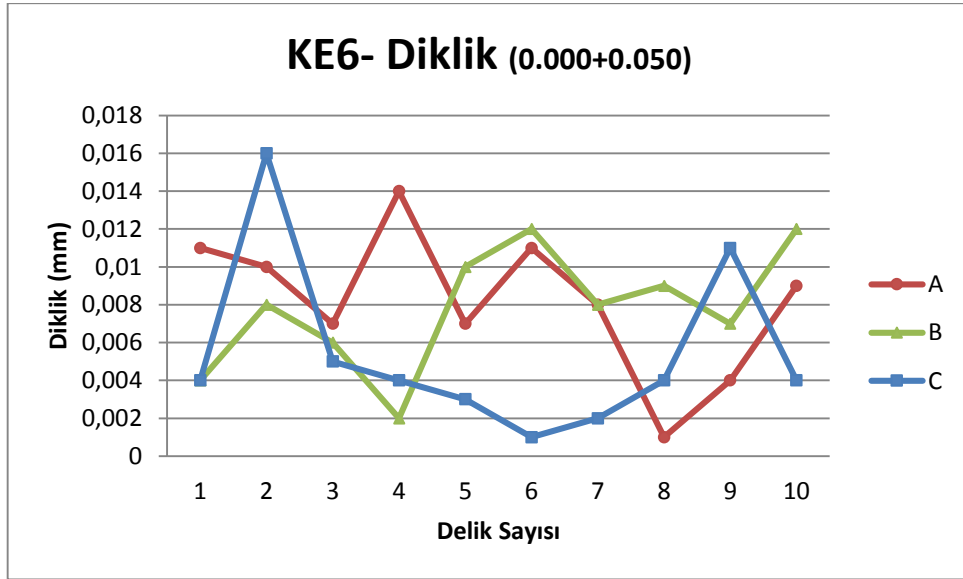
Şekil 8.9 KE6 perçin tipi için delik dairesellik ölçüm grafiği



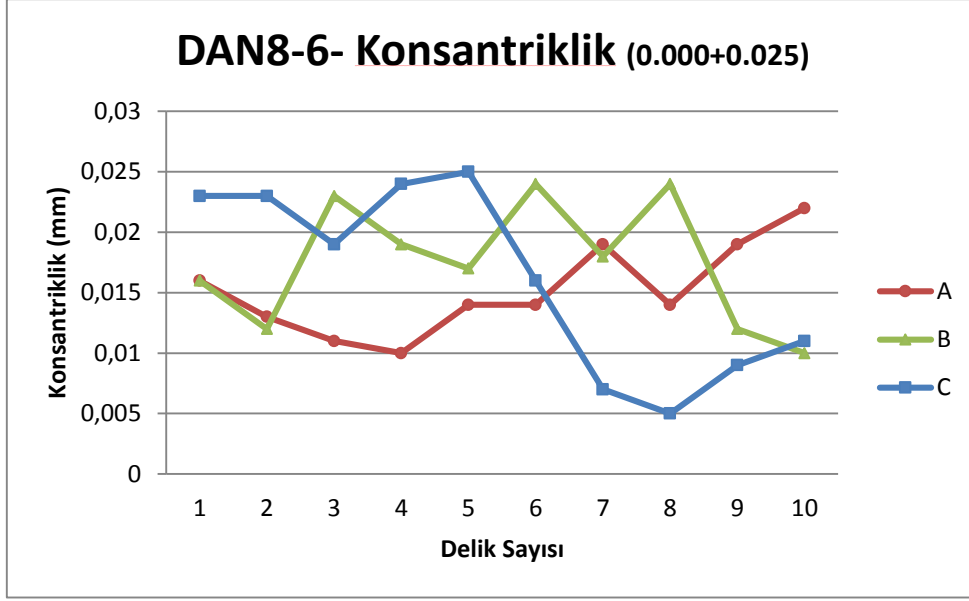
Şekil 8.10 DAN8-6 perçin tipi için delik diklik ölçüm grafiği



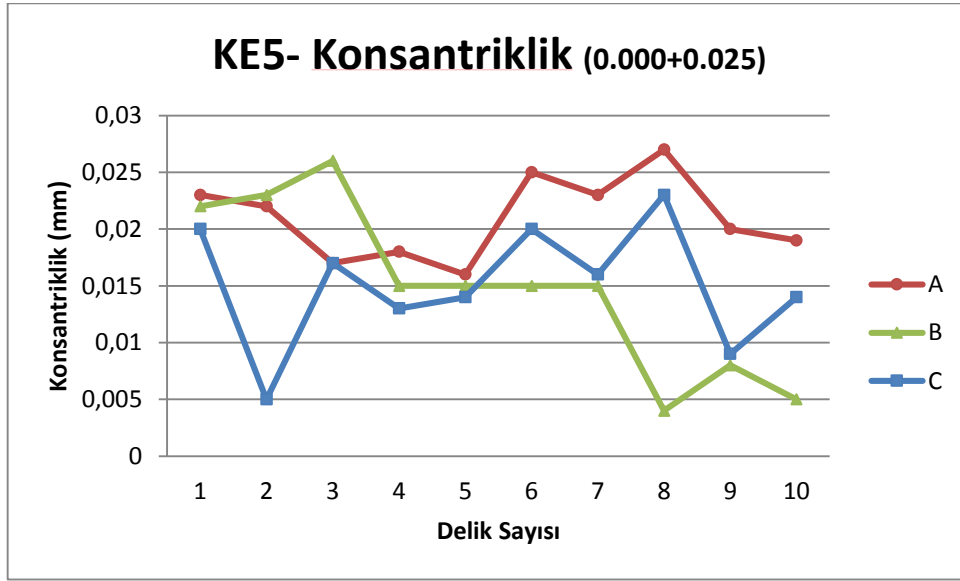
Şekil 8.11 KE5 perçin tipi için delik diklik ölçüm grafiği



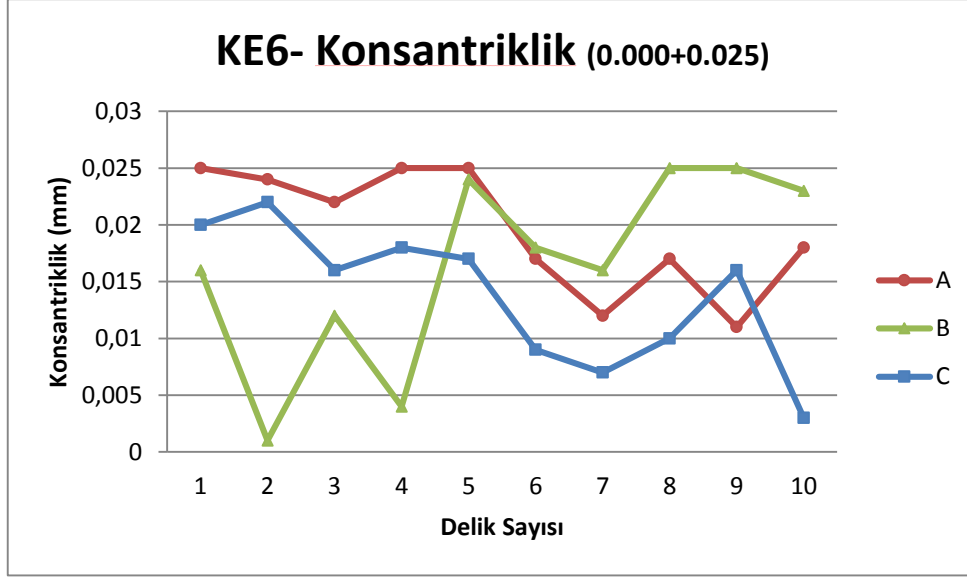
Şekil 8.12 KE5 perçin tipi için delik diklik ölçüm grafiği



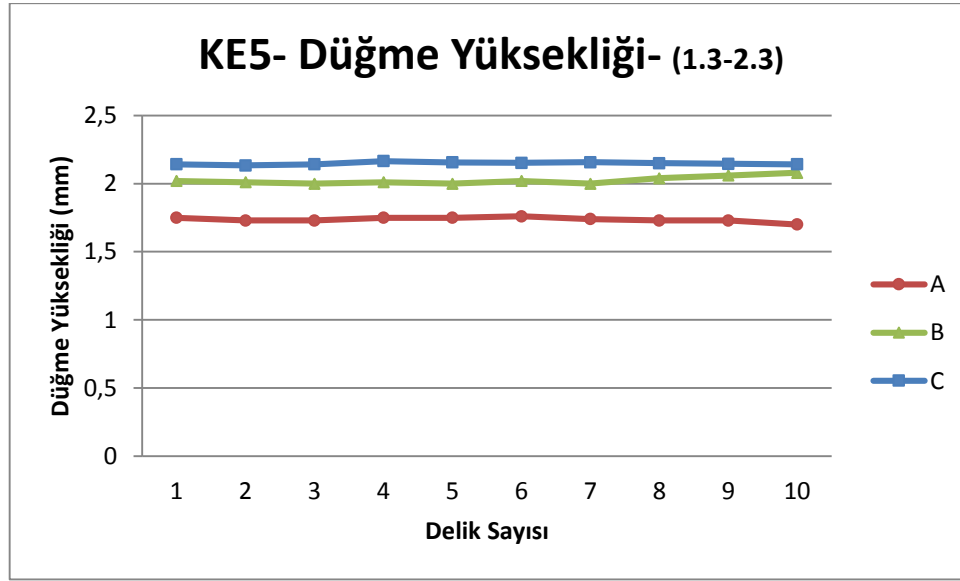
Şekil 8.13 DAN8-6 perçin tipi için delik konsantriklik ölçüm grafiği



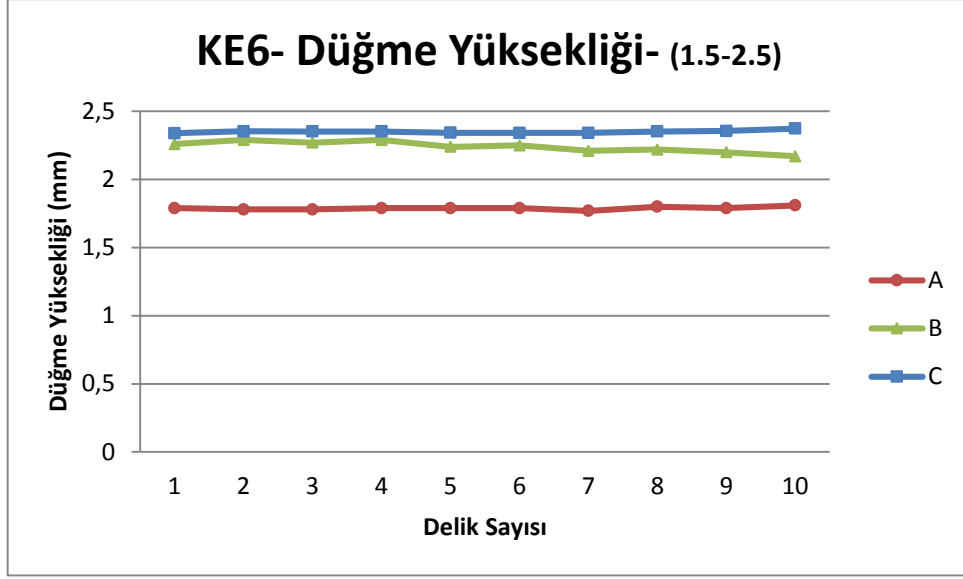
Şekil 8.14 KE5 perçin tipi için delik konsantriklik ölçüm grafiği



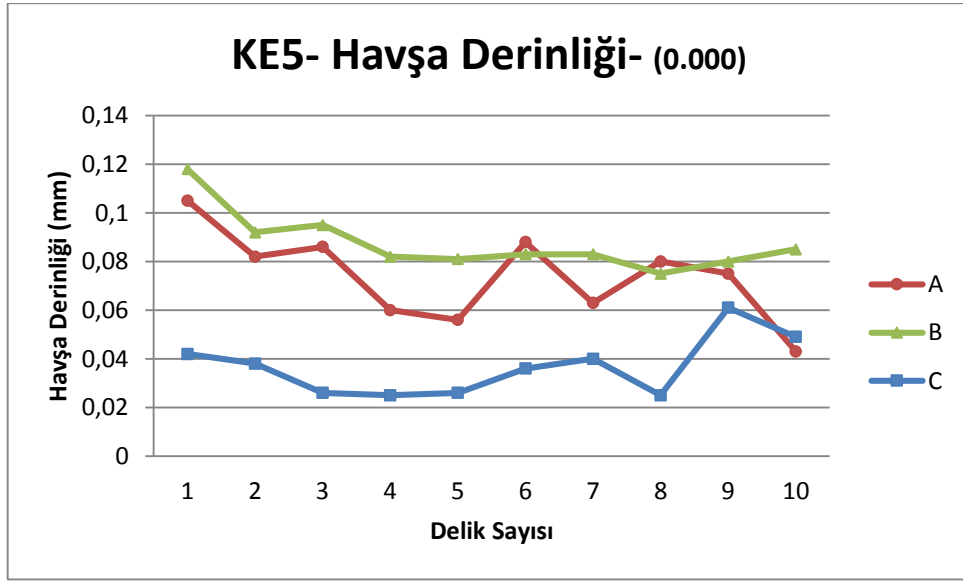
Şekil 8.15 KE6 perçin tipi için delik konsantriklik ölçüm grafiği



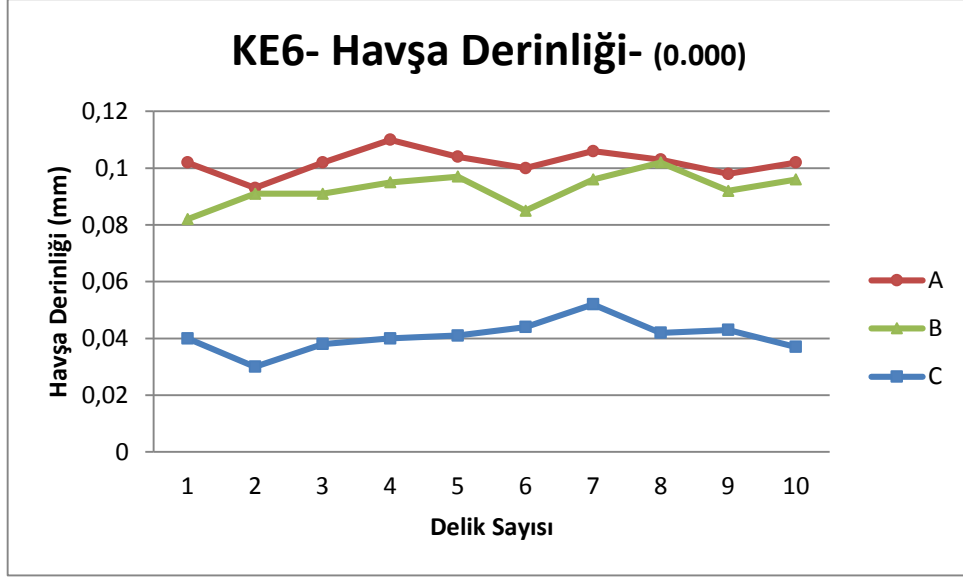
Şekil 8.16 KE5 perçin tipi için perçin düğme yüksekliği ölçüm grafiği



Şekil 8.17 KE6 perçin tipi için perçin düğme yüksekliği ölçüm grafiği



Şekil 8.18 KE5 perçin tipi için perçin havşa derinliği ölçüm grafiği



Şekil 8.19 KE6 perçin tipi için perçin havşa derinliği ölçüm grafiği

Yukarıdaki grafiklerden anlaşılacağı üzere kalite toleransları grafiklerin üzerine nominal, minimum ve maksimum değerler olarak yazılmıştır. Kırmızı, yeşil ve mavi renklerle A, B ve C tezgâhlarında test plakaları ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Üç farklı tezgâh için hazırlanan test plakalarında yapılan çalışmalar sonucu delik çapı, dairesellik, konsantriklik, diklik, düğme yüksekliği ve havşa derinliği ölçüm değerlerinde tüm ölçümlerin kalite standartlarına uygun olduğu ve çok dar bir toleransta olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Yapılan ölçümlerde delik çapı ve dairesellikte A tezgâhı, diklik, konsantriklik ve düğme yüksekliği değerlerinde B tezgâhı, havşa derinliğinde ise C tezgâhı en iyi sonuçları vermiştir.

9. SONUÇLAR

- Birbirinden tamamen farklı olan çevrimdışı yazılım sistemleri kullanılarak oluşturulan her biri yaklaşık 11.000 satırdan oluşan, 6 adet nümerik kontrollü program hazırlanarak, 3 farklı otomatik perçin tezgâhında yolcu uçağı paneli üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir.
- İşçilikten sağlanan kazanç panel başına 3000 adet perçin * 1.23 \$ = 3690 \$ dir.
- Otomatik perçin tezgâhlarıyla perçinlemede, dakikada çakılan perçin sayısı manuel perçinlemeye göre 14-16 kat artmıştır.
- Programlarda iki aşama yeni bir NC programlama metodu geliştirilerek takviye kirişlerinin altında kalan ve işçilik gerektiren 100 adetten fazla perçinin tezgâha aktarılması sağlanmıştır.
- A ve B tezgâhı için perçin veri dosyalarının hazırlanması 5'er hafta sürmüştür. C tezgâhı için bu dosyaların hazırlanmasına ihtiyaç yoktur. Program yazma süreleri ise sırasıyla A tezgâhı için 3,5 ay, B tezgâhı için 3 ay, C tezgâhı için 5 ay sürmüştür.
- Program simülasyon süreleri A tezgahı için 4 hafta, B tezgahı için 2 hafta, C tezgahı için 1 hafta sürmüştür.
- C firmasının çevrimdışı programlamasında perçin veri dosyaları oluşturulmamasıyla, A ve B çevrimdışı programlamasına üstünlük sağlamasına rağmen görsel açıdan yetersiz kalması programlama süresini uzatmıştır.
- Yazılan nümerik kontrollü programlar kod bazında tek tek karşılaştırılmış ve yazılımların birbirlerine karşı üstünlükleri araştırılmış, en üstün, hızlı ve görsel çevrimdışı programlama yazılımının B firmasına ait olduğu belirlenmiştir.
- En hızlı simülasyon yazılımı C firmasına ait olan Vericut7.2 dir. Bu çalışmalar sonucu ortaya çıkan verilere göre ileride farklı bir tezgah kullanılacaksa B tezgahının yazılımını, C tezgahının ise simülasyon sistemini tezgah sistemine entegre etmek yararlı olacaktır.
- A tezgâhının, A açısının -55° & $+53^{\circ}$ limitlerinden dolayı toplam bağlayıcı sayısının yaklaşık %5'ine ulaşamamıştır. Yeni bir panel tutucu aparat yardımıyla ulaşamayan yerlere ulaşım sağlanabilir.

- A ve C tezgâhları kalınlık değişimlerinde perçinler boşa atılmakta iken bu durum A tezgâhında programlama mantığının değiştirilmesiyle minimize edilmiş, C tezgâhında FSTR_STG (fastener staging) komutunun etkin kullanımıyla önlenmiştir. B tezgâhında ise perçin boyu kalınlığa göre otomatik olarak geldiği için böyle bir problemle karşılaşılmamıştır.
- DNC sistemi entegrasyonu ile üretim alanına program aktarım başına 10 dakika kazanç sağlanmıştır.
- Tezgahlarda yapılan denemeler sonucunda A, B ve C tezgahları için optimum kesme parametreleri, kalınlığın 14 mm'den küçük olduğu bölgelerde kısa çakı kullanılarak 11000 devir ve 900 mm/dk ilerleme hızı, kalınlığın 14 mm'den büyük olduğu bölgelerde uzun çakı kullanılarak 16000 devir ve 1500 mm/dk olduğu belirlenmiştir.
- Üç farklı tezgâh için hazırlanan test plakalarında yapılan çalışmalar sonucu delik çapı, dairesellik, konsantriklik, diklik, düğme yüksekliği ve havşa derinliği ölçüm değerlerinde tüm ölçümlerin kalite standartlarına uygun olduğu ve çok dar bir toleransta olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Yapılan ölçümlerde delik çapı ve dairesellikte A tezgâhı, diklik, konsantriklik ve düğme yüksekliği değerlerinde B tezgâhı, havşa derinliğinde ise C tezgâhı en iyi sonuçları vermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Kihlman, H., *Affordable Automation for Airframe Assembly*, Thesis for Doctor of Philosophy of the Linköpings Universitet, Sweden, **2005**
- [2] Bullen G.N., *Automated / Mechanized Drilling and Countersinking of Airframes*, SAE International, Warrendale, Pennsylvania, USA, **2013**
- [3] Kucuk, A., Egilmez, H., *Automatic Riveting Manual*, Turkish Aerospace Industries Inc, Ankara, **2005**
- [4] Flaig, R., New Wing Riveter Technologies, *SAE Aerotech Congress and Exhibition*, No.1999-01-3428, 26-29, **1999**
- [5] Bullen G.N., NC programming automation to drill and countersink dissimilar material stack-ups, *Proceedings of SAE Aerospace Automated Fastening*, 119-126, **2000**
- [6] Delmia Corp., Lockheed Martin Corp. Installs Delmia simulation software at new joint strike fighter facility, *Delmia World News*, No. (10):7, **2005**
- [7] Bres, A., Flexible management of automated drilling of multi-material stacks, *SAE Aerotech Congress and Exhibition*, 26-29 September, Montreal, Canada, **2013**
- [8] Webb, P., Eastwood, S., Jayaweera, N., Chen, Y., Automated aero structure assembly industrial robot, *An International Journal*, Vol. 32, No. 32(5), 383-387, **2005**
- [9] Dale, R., Offline programming and simulation help Boeing use giant automated riveter on C-17 aircraft industrial robot, *An International Journal*, California, USA, No. 28(6), 478-482, **2001**
- [10] Anelle, J., Simulation enhanced work instructions for aircraft assemblies, *SAE Aerotech Congress and Exhibition*, No. 981861, **1998**
- [11] Kihlman, H., Brogardh, T., Haage, M., Nilsson, K., Olsson, T., On the use of force feed back for cost efficient robotic drilling, *SAE Aerotech Congress and Exhibition*, 17-20 September, 2007, Los Angeles, California, USA, No. 2007-01-3909, **2007**
- [12] Wilson, C., Lloyd, R., Banks, S., Barnes, S., Application of KBE to NC programming of fastened assemblies, *Proceedings of SAE Aerospace Automated Fastening Conference and Exposition 2000*, No. 2000-01-3022, 85-90, **2000**
- [13] Perron, C., Lambert, J.M., Monsarrat, B., Mantegh, I., Immarigeon, J.P., Automation and simulation of aerospace processes at the NRC Aerospace Manufacturing Technology Center, *SAE Aerospace Manufacturing Technology Center Conference and Exhibition*, 8-11 September, 2003, Montreal, Canada, **2003**
- [14] Tore, C., *Bağlama Elemanları*, Makine Mühendisleri Odası, Ankara, No. MMO/2009/505, 1-2, **2009**
- [15] The illustrated encyclopedia of aircraft orbis publishing- partwork 1982-1985, *UK Aircraft Magazines*, United Kingdom, **2001**

- [16] Charles, P.A., Drag of riveted wings in aviation, *Boeing Aircraft Company*, May, 1941, Seattle, Washington, USA, 53-54, **1941**
- [17] Airport Haber Perçin, <http://www.ucuyorum.com/showthread.php?122855-Per%C3%A7in-deyip-ge%C3%A7meyelim&highlight=per%E7in> (Ekim, **2013**)
- [18] Dearborn, C.H., The effect of rivet heads on the characteristics of a 6 by 36 foot metal airfoil, *NACA Technical Note*, May, 1933, No. 461, **1933**
- [19] Çıkrıkçı, D., Yaman, Y., Sorguç, M., Ağır bir nakliye uçağına ait bir yapısal bileşenin tasarımı ve analizi, *III. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı*, 16-18 Eylül, 2010, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, No. UHUK-2010-061, **2010**
- [20] Dr. Ing. Özden, H., Mechanical Fastening, Ege Üniversitesi Makine Müh. Böl. Konstr. ve İmalat Anabilim Dalı Lecture Notes, İzmir, No. TTC-1021, **2007**
- [21] MEGEP, *Uçak Perçinleri*, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Uçak Bakım Ders Notları, Ankara, **2005**
- [22] Brown, T., Hartmann, J., Zieve, P., Woods, M., Qualification of the EMR for swaging collars on the 787, *SAE Technical Paper Series*, 3 September, 2005, No. 2005-01-3299, **2005**
- [23] AJAX, *Rivet Handbook Rivet Fastening Concepts*, Ajax Fasteners Company, Australia, **2010**
- [24] Rotation about an Arbitrary Axis in 3 Dimensions, <http://inside.mines.edu/~gmurray/ArbitraryAxisRotation/> (Ekim, **2013**)
- [25] Bajracharya, B., *Effect of Variations of Riveting Process on the Quality of Riveted Joints*, Master of Science Thesis, Wichita State University Department of Industrial and Manufacturing, USA, **2006**
- [26] Otomasyon Çözümleri, <http://www.isletmeyonetimi.net/neden-uretim-otomasyon-cozumleri-kullanilmali.html> (Ekim, **2013**)
- [27] BroetjeAutomation, <http://www.broetje-automation.de/en/solutions-customer-benefit/equipment/automated-assembly/drilling-fastening/cpac/> (Ekim, **2013**)
- [28] Schwarze, K., Maylander, H., Brötje-iGantry automated fastening concept allowing a progressive production flow, *SAE Automated Fastening Conference and Exposition*, 8-11 September, 2003 No. 2003-01-2943, **2003**
- [29] Zieve, P., Rudberg, T., Vogeli, P., Smith, A., Moore, I., A two tower riveting machine with a true Z axis, *SAE Aerospace Manufacturing and Automated Fastening Conference and Exhibition*, 20-23 September, 2004, St. Louis, MS, USA, No. 2004-01-2807, **2004**
- [30] Neugebauer, L., Hoppe, S., Full flexible multitask robot cell for complex 360° aircraft structures, *SAE Aerospace Manufacturing and Automated Fastening Conference and Exhibition*, 12-14 September, 2006, Toulouse, France, No. 2006-01-3124, **2006**

- [31] Thompson, P., Hartmann, J., Feikert E., Buttrick J., Flex track for use in production, *SAE Technical Paper Series*, No. 2005-01-3318, **2005**
- [32] Zieve, P., Frame-Clip riveting end effector, *SAE Aerotech Congress and Exhibition*, 26-29 September, Montreal, Canada, No. 2013-01-2079, **2013**
- [33] Hempstead, B., Thayer, B., Williams, S., Composite automatic wing drilling equipment (CAWDE), *SAE Aerospace Manufacturing and Automated Fastening Conference and Exhibition*, 12-14 September, 2006, Toulouse, France, No.2006-01-3162, **2006**
- [34] Gemcor, All Electric Lipskin Fastening Cell
<http://www.gemcor.com/wp/wp-content/uploads/2013/08/Boeing-787-All-Electric-Lipskin-Fastening-Cell.jpg> (Kasim, **2013**)
- [35] Gemcor, Robot Solutions, <http://www.gemcor.com/wp/automation/products/robot-solutions/> (Kasim, **2013**)
- [36] Dillhöfer, T., Bankston, B., MPAC (Multi Panel Assembly Cell), *2009 SAE Technical Paper*, No.2009-01-3091, **2009**
- [37] LaserTracker, <http://www.qualitydigest.com/inside/twitter-ed/how-laser-trackers-work.html> (Kasim, **2013**)
- [38] Xue, H., The automated drilling system for wing panel, *SAE Aerospace Manufacturing and Automated Fastening Conference and Exhibition*, September, 2010, Wichita, KS, USA, No. 2010-01-1827, **2010**

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Osman Emre ÇELEK

Doğum Yeri : ANKARA

Medeni Hali : Evli

E-Posta : osmanemrecelek@gmail.com

Adresi : Mustafa Kemal Mah. Barış Sitesi 1B/5 BİLKENT/ANKARA

Eğitim

Lise : 2001-2005 Polatlı Anadolu Lisesi, Ankara

Lisans : 2005-2009 Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Bursa

Yüksek Lisans : 2010-2014 Hacettepe Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
Ankara

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce- Çok iyi

Almanca- Orta

İş Deneyimi

2010-2012 Proses Mühendisi, Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş. (ORS)

2012- Otomasyon Mühendisi, TAI- TUSAŞ A.Ş.

Deneyim Alanları

Proses ve İmalat, CAD-CAM Sistemleri, Yazılım, Otomasyon Mühendisliği

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-