



**PARAMETRİK TASARIM İLE DERİN ÖĞRENME DESTEKLİ TASARIM
ÇALIŞMALARI İÇİN 3 BOYUTLU VERİ KÜMESİ
OLUŞTURMA VE DÜZENLEME**

Gülçin URAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Gülçin URAL

06/05/2024

PARAMETRİK TASARIM İLE DERİN ÖĞRENME DESTEKLİ TASARIM
ÇALIŞMALARI İÇİN 3 BOYUTLU VERİ KÜMESİ OLUŞTURMA VE DÜZENLEME
(Yüksek Lisans Tezi)

Gülçin URAL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2024

ÖZET

Daha güçlü, hafif ve verimli tasarım taleplerine uygun çözümler sunmak, üretken tasarımın temel amacıdır. Daha fazla tasarım olanağı, tasarım sürecinin başlarında daha ekonomik yapısal tasarım çözümlerin bulunmasına olanak sağlayarak, üretim maliyetleri de dahil sürecin diğer aşamalarında tasarruf sağlar. Böylece alternatif tasarım varyantları / analizleri ile tasarımcının en uygun tasarım konseptini belirlemesi için çok önemlidir. Bu çalışmada yapısal bir iş parçasının parametrik tasarım metodolojisi ile nasıl oluşturulması gerektiği detaylı olarak açıklanmıştır. Daha fazla tasarım alternatifi bulmak için parametrik tasarım metodolojileri kullanılarak bir optimizasyon tekniği izlenmiştir. Parametrik tasarım ile bir tasarımın temel unsurlarına karar verebilir ve bunlar üzerinde değişiklikler yaparak modelin otomatik olarak güncellenmesi sağlanabilir. Bu sayede tasarımın optimizasyonu ile daha fazla ve daha verimli tasarım çözümü elde edilebilir. Yapısal tasarımda optimizasyonun genel amacı çeşitli tasarım seçenekleri arasında en ideal ağırlığa sahip bir yapı üretmektir. Bu çalışma belirtilen kapsamda bir iş akışı oluşturarak parametrik ve üretken tasarımın potansiyel uygulamalarını keşfetmeyi amaçlamaktadır. Böylece çok sayıda olasılığı hızlı bir şekilde değerlendirmek ve en iyi tasarımı seçmek mümkün olacaktır. Sürdürülebilir bir tasarım sağlamak için bir ana geometri oluşturulmuştur. Rotorlu hava araçlarında rotor pervanesini ana yapıya bağlayarak güvenli bir şekilde çalışmasını sağlayan montaj parçası ele alınarak, tasarım süreci ve ana geometri oluşturma adımları açıklanmıştır. Kullanılan optimizasyon senaryosu parametrik bir çözüm olduğundan başka projeler için de kullanılabilir. Bu sayede, gelecekte derin öğrenme metodolojisi ile tasarım yapmak için gerekli tasarım değişikliklerini kolayca yönetmek, daha fazla veri üretmek ve bir veri kütüphanesi oluşturmak mümkün olabilir.

Bilim Kodu : 91406
Anahtar Kelimeler : Parametrik tasarım, master geometri, veri üretimi
Sayfa Adedi : 71
Danışman : Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ

CREATING AND EDITING A 3D DATASET WITH PARAMETRIC DESIGN
FOR DEEP LEARNING AIDED DESIGN STUDIES

(M. Sc. Thesis)

Gülçin URAL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2024

ABSTRACT

Delivering components that are stronger, lighter, more efficient, and adapted to the individual demands of structure is the main goal of productive design. More design possibilities lead to more cost-effective structural solutions being found early in the design process, saving money on other stages of the process, including production costs. In view of this, it's critical to present structural analysis to help the designer's decision-making and to generate multiple solutions in order to identify the optimal one. In this study, the creation of a structure using the parametric design methodology is explained in detail. An optimization technique using new methodologies for product design and parametric design is pursued in order to find more design alternatives. With parametric design, you may decide on the fundamental characteristics of your project and make interactive modifications while your model is automatically updated. Additional possibilities and optimize structures with more efficient designs could be found. Among several design options, the optimization aim is to produce a structure with the most ideal mass. This study aims to establish a workflow and explore the potential applications of parametric design and productive design. This research makes it possible to quickly assess a large number of possibilities and choose the best design. In order to provide that a sustainable design a master geometry is created. The steps of the design process and creation of master geometry are described on the basis of an aircraft component, the rotor blade mounting bracket that serves as a structural support for the blade and ensures that the blade remains securely attached to the main structure of the rotor. This optimization scenario may be varied and used to various projects since it is achieved with the aid of the rotor blade mounting bracket. Hence, it is easy to vary the design to generate more data for designing with deep learning methodology in the future.

Science Code : 91406

Key Words : Parametric design, master geometry, dataset

Page Number : 71

Supervisor : Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında yardım ve desteğini gördüğüm, çalışmalarımın yönlendirilmesi ve sonuçlandırılmasında büyük emeği geçen saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ'ye ve çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Nurullah YÜKSEL'e ve eğitimim hayatım boyunca bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmamda 1001-Bilimsel ve teknolojik araştırma projelerini destekleme programı kapsamında, 122E411 numaralı ‘‘Derin Öğrenme Kullanılarak Fonksiyonel Tasarım Varyantları Geliştirilmesi’’ projesinde çalıştığım için beni maddi açıdan destekleyen TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Son olarak çalışmam boyunca ve daima beni destekleyen, her zaman yanımda olan sevgili eşim Sedat URAL'a ve tüm hayatım boyunca varlığını ve desteğini yanımda hissettiğim ve bugünlere ulaşmamı sağlayan sevgili annem, babam ve ablama teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Parametrik Tasarım	3
2.2. Parametrik Tasarımın ile Bilgisayar Destekli Tasarım	4
2.3. Parametrik Tasarımın Derin Öğrenmedeki Rolü	6
2.4. Havacılık endüstrisinde parametrik tasarımın kullanımı	7
2.4.1. Havacılık endüstrisinde parametrik tasarımın kullanımı	7
2.4.2. Endüstriyel ürünlerde parametrik tasarımın kullanımı	14
3. KAVRAMLAR	19
3.1. Veri Yapıları.....	19
3.1.1. Veri edinme	23
3.1.2. Veri etiketleme	24
3.2. 3B Modelleme	25
3.2.1. 3B model gösterim yöntemleri.....	25

	Sayfa
3.2.2. 3B modelleme teknikleri	27
3.2.3. Mevcut ticari sistemler	30
3.3. Parametrik Tasarım	33
3.3.1. Genel modelleme metodolojileri.....	36
3.4. Ana Referans (Master) Geometri	41
4. 3B VERİ KÜMESİNİN OLUŞTURULMASI.....	43
4.1. Referans Ana (Master) Geometrinin Oluşturulması	43
4.1.1. Montaj parçalarında referansların oluşturulması	44
4.1.2. Parçayı oluşturacak referansların tek bir yerde toplanması.....	47
4.2. Referansların Parça Model Ağacına Bağlanması	48
4.3. Parçanın 2B Çizilmesi (Sketch).....	49
4.4. Katı (3B) Modelin Oluşturulması.....	52
4.4.1. Simetrik katı modelin oluşturulması.....	60
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	67

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Basınçlı kap tasarım parametreleri	16
Çizelge 3.1. Parametrik tasarım temel esaslı kullanılan ticari programlar	31
Çizelge 3.2. Esnek modelleme metodolojisi grupları	41



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. CATALIST ile üretilmiş Bombardier CRJ200 uçak modeli	8
Şekil 2.2. CATALIST mimarisinin temel kırımları.....	9
Şekil 2.3. Üretim verisi olarak kullanılan kokpit modeli (sol) ve CATALIST ile üretilen kokpit modeli (sağ)	10
Şekil 2.4. CATALIST dört ana modülün genel gösterimi	11
Şekil 2.5. Parametrik modelleme	16
Şekil 2.6. İki nozul deliği ile oluşturulmuş 3B tasarım modeli	17
Şekil 2.7. Optimizasyon	17
Şekil 3.1. Veri toplama yollarının şematik gösterimi.....	21
Şekil 3.2. Veri üretiminde izlenilecek adımların	22
Şekil 3.3. (a) Nokta bulutu, (b) Voksel (c) Poligon mesh.....	25
Şekil 3.4. Parametrik tasarım değişken ve sabit konsepti.....	34
Şekil 3.5. Yatay parametrik modelleme stratejisi	36
Şekil 3.6. Modelleme operasyonlarının sınıflandırılması ve bağlı sınır koşulları	39
Şekil 4.1. Montajda komşu olan ve referans olarak kullanılan parçalar	43

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. (a) Mesh modelleme, (b) NURBS modelleme.....	27
Resim 3.2. Parametrik tasarım amaçlı kullanılan bazı ticari uygulamalar.....	30
Resim 4.1. Montajda komşu olan ve referans olarak kullanılan parçalar	44
Resim 4.2. Referans olarak oluşturulan yüzey ve düzlemler	45
Resim 4.3. Referans olarak oluşturulan yüzey ve düzlemlerin	45
Resim 4.4. Rotor bıçak pimi içerisinde referans olarak oluşturulan yüzey ve düzlem..	46
Resim 4.5. Kullanılan standart (rulman ve bağlayıcı) parçaların arayüzeyleri	47
Resim 4.6. Master geometride referansların (turuncu) montaj parçası üzerindeki yerleri	48
Resim 4.7. Referans bağlantı yüzeylerinin model ağacına bağlanması.....	49
Resim 4.8. Bağlayıcı referans yüzeylerin çizim içerisine iz düşümleri	50
Resim 4.9. En ve boy boyutlandırma	51
Resim 4.10. Kalınlık verme (extrude).....	51
Resim 4.11. Stok boyutu oluşturma	52
Resim 4.12. Bağlayıcı oturma yüzeylerinin oluşturulması.....	52
Resim 4.13. Bağlayıcı oturma yüzeyleri	53
Resim 4.14. Kullanılmayacak alanın modelden çıkarılma aşamaları	54
Resim 4.15. Rulman yatağını temsil eden katı model	55
Resim 4.16. Rulman yatağını temsil eden katı model	55
Resim 4.17. Rulman yatağını temsil eden katı model.....	56

Resim	Sayfa
Resim 4.18. Pim arayüzünün oluşturulması	56
Resim 4.19. Rulman bölgesi güçlendirilmesi için sınırlarının çizilmesi	57
Resim 4.20. Rulman bölgesi güçlendirilmesi kalınlık artışı	58
Resim 4.21. Keskin köşe ve kenarların giderilmesi	59
Resim 4.22. Düzeltme öncesi ve son hali	60
Resim 4.23. Simetrik parça bağlantısını oluşturma	61
Resim 4.24. Simetrik eksen belirleme.....	61
Resim 4.25. Simetrik 3B katı model	62
Resim 4.26. Genişlik arttırılarak parçaların kolay bir şekilde güncellenmesi	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
3B	Üç Boyutlu
BDT / CAD	Bilgisayar Destekli Tasarım / Computer Aided Design
CAM (BDİ)	Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)
Combine	İki veya daha fazla yüzeyi birleştirme komutu
Exact mirror	Linklerin kurularak eksene göre simetriğini alma (aynalama) komutu
Extent sheet	Sac kenar uzatma komutu
Extrude	Kalınlık verme komutu
Mid-Plane	Orta Düzlem (Simetri ekseni)
Mirror	Eksene göre simetriğini alma (aynalama) komutu
NX	Bilgisayar Destekli Tasarım Programı
Offset	Öteleme komutu
Project	İz düşüm alma komutu
Sketch	Teknik çizim (İki boyutlu)
Trim Body	Parçayı belirli bir yüzey ile kesme komutu
TVS	Train (Eğitim) Veri Seti
Wave Modu	Montaj arayüzünde link kurmak için gerekli komut

1. GİRİŞ

Günümüzde parametrik tasarıma birçok alanda ihtiyaç duyulmaktadır. Mimarlık, endüstriyel parça üretimi, makine imalatı, havacılık, gemicilik, otomobil başta olmak üzere neredeyse bütün tasarım ve üretim faaliyetlerine ait teknolojik çalışmalarda bu yaklaşım önemlidir. Bu yaklaşım hızla değişen yaşam koşulları ve her gün artan ihtiyaçlara çabuk ayak uydurmak adına zaruri bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu ihtiyaç doğrultusunda tasarımcılar optimum parametrik tasarım çözümleri oluşturmak için birçok metodoloji kullanırlar [1].

Bir tasarım çözümünü oluşturmak için ilk olarak ihtiyacı ve tasarım sınırlarını belirlemek gerekmektedir. Bu sınır ve şartlar tasarım çözümünün karşılaması gereken şartları veya olası çözümün ana iskeletini oluşturmaktadır. Daha sonraki süreçte ise optimum çözümü bulmak için birçok konsept oluşturulur. Projenin ilk safhalarında üretilen tasarım konseptleri ne kadar fazla ise ilerleyen süreçte maliyet ve üretim harcamaları gibi birçok kalemden o kadar kazanç sağlamak mümkündür [2]. İlk aşamadaki tasarım sayısını arttırmak için de tasarımı hızlı ve kolay bir şekilde optimize edecek metodolojiler kullanılmalıdır.

Parametrik tasarım, bir tasarım ihtiyacını giderecek şekilde oluşturulan ve değişikliklere kolay uyum sağlayan çözüm varyantları sağlar. Bir tasarımın parametrik olma derecesi bir değişiklik ihtiyacında gereken zaman ve tasarımdaki değişikliğin tasarıma etkisinin ne kadar az olması ile doğru orantılıdır. Yani, değişiklik yapıldığında tasarım hemen güncellenebilir ve yeni ihtiyaçları karşılayacak şekilde uyarlanabilir. Böylece tasarıma ait değişiklikleri etkin bir şekilde yönetilebilmeye bağlı olarak maliyet ve üretilebilirlik anlamında da en verimli, en hafif ve en mukavim tasarım çözümü çabucak elde edilebilir [3-5]. Kısacası parametrik tasarımın amacı aşağıda belirtilen başlıklar ile özetlenebilir.

Zaman yönetimi

- Fizibilite süresinde işçilikte artış
- Değişiklik ve güncelleme süresinde işçilikte azalış

Düşük maliyet

- İşçiliğin bir kısmı projenin ilk aşamalarına aktarıldığından erken safhalarda çok fazla bir kazanç olmayabilir. Fakat sürece yayıldığında uzun vadede kazanç sağlamaktadır.
- Üretim maliyetlerinde azalma

Uyum sağlama

- İhtiyaçlar karşısında hızlı adaptasyon
- Değişikliklerde otomatik güncelleme ve az işçilik

Bu çalışmada, parametrik tasarım ihtiyacını karşılayacak metodolojinin süreç ve uygulama adımları tanıtılmaktadır. Parametrik tasarım için bir yol haritası çizilerek optimum tasarım çözümüne nasıl ulaşılabileceği ve sürdürülebilir bir tasarımın, yani parametrik bir tasarımın nasıl oluşturulacağı kademe kademe gösterilmektedir.

Derin öğrenme, veri kümelerini anlamakta benzersiz bir yeteneğe sahip olmasına rağmen, literatürdeki bu veriler genellikle sınırlı ve fonksiyonel olmayan iş parçalarına aittir. Bu çalışmada parametrik tasarım ile master geometri kombinasyonları kullanılarak 3 Boyutlu (3B) sentetik veri kümesi oluşturulacaktır. Oluşturulan veriler, diğer çalışmalardan farklı olarak, kullanılabilir iş parçası olacaktır. Uygulanan yöntem sayesinde tasarım üzerindeki olası değişiklikler kolayca yapılacak ve benzersiz veri kümeleri oluşturmayı mümkün kılacaktır. Çalışma, özellikle parametrik tasarım yöntemiyle yapısal iş parçaları tasarlama ve bu 3B verilerin derin öğrenme için kullanılabilir, zengin bir kütüphaneye oluşturulmasına imkân sağlayacaktır. Ayrıca kullanılan bu yöntemle birlikte karmaşık 3B parçaların tasarım aşamasında zamandan ve maliyetten ciddi ölçüde fayda sağlanacaktır.

Bu çalışmanın amacı, tasarım çözümü oluşturulacak olan rotor bıçak tutucusunun Siemens NX (Unigraphics) BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) programı ile parametrik tasarımı yapılarak, ihtiyaç duyulan tasarım süre ve maliyetlerde tasarruf sağlayarak uygun tasarım çözümünü oluşturmaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Parametrik Tasarım

Yaklaşık 20 yıl önce, tasarım ve mühendislik ihtiyaçlarına çözüm sağlayacak yeni nesil parametrik tasarım sistemleri geliştirilmiştir [6]. Daha sonra Generative Components [7], Grasshopper [8] ve Dynamo [9] gibi birkaç önemli özelliğe sahip parametrik sistemler ortaya çıkmıştır. Bu özellikler; kullanıcının parametreleri belirleyebilmesi, parametre işlemleri arasında ilişkiler kurulabilmesi ve tek yönlü bir mantıkla değişikliklerde otomasyon ile geliştirme faaliyetlerine destek olmayı mümkün kılar [10]. Tasarımcının, tasarım ve mühendislik mantığını ifade edebilmesi için daha önce kullanılan metinsel programlama dillerinin aksine bu sistemler, görsel programlama dilleri kullanmaktadır. Bu programlama dillerinin görsel doğasının yanı sıra metinsel programlama dillerinin aksine BDT ve YBM (Yapı Bilgi Modellemesi) sistemlerindeki modelleme geometrisine ve mantığına uyumlu olduğundan, tasarımcılar tarafından benimsenmesi ve kullanılması daha kolay olur. Bu sistemlerin iş akışı incelendiğinde, tasarımcılar tarafından kendi otomasyon mantıklarını oluşturmak için kullandıkları tablolar ile benzerlik göstermektedir.

Bu sistemlerdeki mantık, çeşitli düzenlemeler ile oluşturulabilen ve tekrar kullanılabilir olan her bir nesnenin bir araya gelerek yapı taşı oluşturduğu dijital yapı bileşimine dönüşmesi olarak da ifade edilebilir.

Başlangıçta parametrik tasarım, bu sistemler ile Rhinoceros3D gibi gelişmiş geometri türlerini destekleyen 3B BDT sistemleri arasındaki benzerlikler nedeniyle geometrinin modellenmesi için kullanılmıştır [11]. Fakat kullanımı yalnızca geometri ile sınırlı değildir. Üzerinde işlemler yapılabilecek veri ve nesne türlerinin yanı sıra veri ağaçları gibi gelişmiş veri yapıları da içerirler.

Parametrik Tasarım, YBM'den farklı olarak tek bir nesneyi daha geniş bir ölçekte kapsayabilir ve hatta YBM'de gerektirdiği gibi fiziksel veya yarı fiziksel nesnelerden bağımsız olarak ifade edilebilir ve kontrol edilebilir. Bu durum mantığın karmaşık nesnelere hem bağımlı hem de bağımsız olabileceği ve dolayısıyla erken tasarım ve mühendislik mantığının ifadesi için çok daha kullanışlı olduğu anlamına gelir.

Parametrik tasarım, tasarımcının tasarım veya mühendislik faaliyetlerinin algoritmik olarak ifade edilmesini sağlar. Tasarımın güvenli olduğunu kanıtlamak için genellikle belirli adımları izler ve kontrol edilmesine olanak sağlar. Tasarımda yer alan birden fazla durumun ifade edilmesi parametrik tasarım sayesinde daha kolay olur. Parametrik yazılım ile sonlu elemanlar yazılımı arasında bağlantı kurulabildiği gibi sonlu elemanlar yönteminin parametrik yazılımın kendisine bir uzantı olarak entegre edilmesi de mümkündür [12].

Yukarıda belirtilen avantajların yanı sıra parametrik tasarımda geliştirme, programlama yaklaşımlarına kıyasla daha hızlıdır. Tasarımcı için çok daha anlaşılır ve kolaydır. Temel adımların anlaşılması ve temel modelleme becerileri dışında özel beceriler gerekli değildir. Tasarım kurgusunun parametrelere, işlemlere ve uygun ilişkilere dönüştürülmesi ile beraber karmaşıklığını azaltır. Bu da pahalı programcılara gerek olmadan tasarımcıların normal işlerinin ve uzmanlık alanlarını kolayca sürdürebilmelerini sağlar. Bu durum tasarım aşamasındaki maliyetleri ciddi ölçüde azaltılmasında önemli rol oynar.

Yapılan çalışmalarda, parametrik tasarım ile bilgisayar destekli tasarımın (BDT) entegrasyonu ile karmaşık nesnenin modelleme süreci daha kolay hale geldiği görülmüştür. Tasarımda yapılan değişikliklerde çok daha kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilmiş ve bu sayede tasarım süreçleri hızlanmış ve maliyetin büyük ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir.

2.2. Parametrik Tasarımın ile Bilgisayar Destekli Tasarım

Bilgisayar Destekli Tasarım, sanal tasarımdaki ilk gelişmelerden biridir ve el ile yapılan çizimin yerini, başlangıçta iki boyutlu hesaplamalı çizim (2B BDT) ve daha sonra üç boyutlu geometrik modelleme uygulamaları (3B BDT) ile değiştirerek geliştirmiş ve iyileştirmiştir. Bu gelişme sayesinde, binaların ve diğer işlerin tasarlanma süreci hızlandırılmış ve kâğıt üzerinde elle yapılan çizimlere kıyasla tasarımın iyileştirilmesi daha kolay hale gelmiştir [13].

Parametrik tasarım, bilgisayar destekli tasarımın bir alt dalıdır ve tasarım sürecinde parametrelerin kullanılmasını içerir. Bu parametreler, tasarımın farklı özelliklerini ve bileşenlerini kontrol etmek için kullanılır. Parametrik tasarım, tasarım değişkenlerini belirleyerek, tasarımın esnekliğini ve ölçeklenebilirliğini artırır. Bu da tasarım sürecindeki

verimliliği artırır ve farklı tasarım seçeneklerinin hızlı bir şekilde keşfedilmesini sağlar. Bilgisayar destekli tasarım sürecinde, parametrik tasarımın rolü şunlardır:

- Esneklik ve ölçeklenebilirlik: Parametrik tasarım, tasarımın farklı boyutlarını ve özelliklerini değiştirmeyi kolaylaştırır. Böylece tasarımın farklı gereksinimlere uygun hale getirilmesini sağlar.
- Hızlı iterasyonlar: Parametrik tasarımın kullanılmasıyla, tasarımın farklı versiyonları hızlı bir şekilde oluşturulabilir ve test edilebilir. Bu tasarım sürecindeki dönüş sürelerini kısaltır.
- Optimizasyon: Parametrik tasarım, belirli tasarım hedeflerini karşılamak için parametrelerin optimize edilmesini sağlar. Bu tasarımın performansını artırabilir veya maliyetlerini azaltabilir.
- Değişiklik yönetimi: Parametrik tasarım, tasarım sürecinde yapılan değişiklikleri yönetmeyi kolaylaştırır. Bir parametrenin değiştirilmesi, tasarımın diğer bileşenlerine otomatik olarak yansıtılabilir.
- Parametre analizi: Parametrik tasarım, farklı parametre değerlerinin tasarımın performansı üzerindeki etkilerini analiz etmeyi sağlar. Bu tasarımın belirli kriterlere uygunluğunu değerlendirmeyi kolaylaştırır.

Parametrik tasarım yapabilen BDT programlarından bazıları şunlardır:

- Autodesk Fusion 360: Parametrelerle çalışarak tasarımın esnekliğini ve ölçeklenebilirliğini artıran, yaygın kullanılan bir BDT programıdır.
- SolidWorks: Parametrik modelleme özelliklerine sahip endüstriyel bir BDT programıdır. Parametrelerle tasarımın farklı özelliklerini kontrol etmek ve değiştirmek mümkündür.
- PTC Creo: Parametrik tasarımın yanı sıra doğrudan modelleme ve ters mühendislik gibi özelliklere de sahip bir BDT platformudur.
- Siemens NX: Parametrik modelleme yetenekleri olan bir diğer güçlü BDT programıdır. Tasarımı esnek hale getirmek için parametrelerin kullanılmasını destekler.
- CATIA: Çeşitli endüstrilerde kullanılan, parametrik modelleme yapabilen ve karmaşık tasarımlar oluşturmaya olanak sağlayan bir BDT yazılımıdır.
- Onshape: Parametrik tasarım yapabilen bulut tabanlı bir BDT platformudur. Çeşitli kullanıcılar arasında iş birliği yapmayı ve tasarımları paylaşmayı kolaylaştırır.

Bu programlar, parametrik tasarım yapabilmenin yanı sıra genellikle diğer BDT yazılım özelliklerini de içerir ve farklı endüstrilerdeki tasarım ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde geliştirilmiştir. Parametrik tasarım, bilgisayar destekli tasarım sürecinde önemli bir rol oynar ve tasarımı daha etkili bir şekilde gerçekleştirme sağlar.

2.3. Parametrik Tasarımın Derin Öğrenmedeki Rolü

Aşağıda belirtilen noktalar parametrik tasarımın derin öğrenme ile birleştiği ve tasarım süreçlerinde önemli bir rol oynadığı birkaç örneği temsil etmektedir. Bu entegrasyon, tasarım süreçlerini daha verimli, etkili ve yaratıcı hale getirmektedir.

Veri analizi ve tahmini

Parametrik tasarım, büyük veri kümelerini işleyerek desenleri ve ilişkileri tanımlama yeteneğiyle derin öğrenme için önemli bir veri kaynağı sağlar. Örneğin, yapısal mühendislikte, parametrik modeller kullanılarak bir binanın taşıma kapasitesi gibi önemli özelliklerin tahmin edilmesi için derin öğrenme algoritmaları oluşturabilir.

Tasarım optimizasyonu

Derin öğrenme, parametrik tasarım sistemlerine entegre edilerek, tasarımın belirli hedeflere göre optimize edilmesini sağlayabilir. Örneğin, bir yapısal tasarımın dayanıklılığını artırmak veya malzeme kullanımını optimize etmek için derin öğrenme algoritmaları kullanılabilir.

Tasarım üretkenliği ve yaratıcılık

Parametrik tasarım, derin öğrenme ile birleştirilerek, tasarımcıların yaratıcılığını destekleyebilir ve tasarım sürecini hızlandırabilir. Örneğin, derin öğrenme algoritmaları, bir tasarım problemini çözmek için önerilen çözümleri üretmek veya optimize etmek için kullanılabilir.

Tasarım analitiği ve geri bildirim

Derin öğrenme, parametrik tasarımın sonuçlarını analiz etmek ve tasarım kararlarını değerlendirmek için kullanılabilir. Örneğin, bir tasarımın performansını ölçmek için gerçek dünya verilerini analiz etmek ve tasarımın nasıl iyileştirilebileceğine dair geri bildirim sağlamak için derin öğrenme teknikleri kullanılabilir.

Yapay zekâ destekli tasarım

Parametrik tasarım ve derin öğrenme bir araya getirilerek, yapay zeka destekli tasarım sistemleri geliştirilebilir. Bu sistemler, tasarım sürecinde otomatik kararlar alabilir, tasarım kararlarını optimize edebilir ve tasarımcılara önemli ve değerli bir yardımcı olarak hizmet edebilir.

2.4. Parametrik Tasarım Uygulama Alanları

2.4.1. Havacılık endüstrisinde parametrik tasarımın kullanımı

Küreselleşmiş olan havacılık endüstrisi günümüzde en rekabetçi endüstri alanlarından biridir. Bu yüzden uçak üreten firmalar tasarımda güncel teknolojiyi iyi bir şekilde kullanmaları gerekir. Modelleme maliyetinin azaltılması, kavramsal tasarım sürecinde daha çok iterasyon yapma ve daha verimli çalışmaya yardımcı olabilir. Sonuç olarak kısa sürede daha fazla iterasyon ve daha fazla analiz yapılabilir. Bu da verimli bir şekilde optimize edilmiş ürün tasarlamayı mümkün kılar.

Bir ürünün pazar yerini daha iyi anlamak için, rakip ürünlerin kapsamlı analizlerini yapmak ve onlar ile karşılaştırmak gerekir. İyi bir parametrik tasarım uygulaması geleneksel olmayan uçak tasarımına olanak sağlayabilir. Bu sayede geliştirilmek istenilen uçak üzerindeki iyileştirme potansiyellerini de keşfetmeyi sağlar.

Bu ihtiyaçlara dayanarak Bombardier Havacılık ve Uzay firmasına ait tasarım bölümünde tam parametrik 3B bir uçak modeli geliştirmeye karar verilmiştir (Şekil 2.1). Daha önceki geliştirme yaklaşımı geometrik veriler / tanımlar yerine 3B çizim kullanmayı içeriyordu. Kavramsal tasarım sürecinde süreklilik daha önemli görülmüştür. Bu nedenle model,

havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan CATIA V5 platformu ile inşa edilmiştir. Burada basit olarak parametrik tasarım kavramı uygulanmaktadır. Böylece, geleneksel yaklaşımlara göre uyumun yanı sıra daha yüksek hassasiyet, hızlı geri dönüş ve çabuk öğrenme sağlanabilir. Modeli CATALIST yani CATIA Gelişmiş Tasarım Bağlama ve Yineleme Yazılımı olarak tanımlamışlardır.



Şekil 2.1. CATALIST ile üretilmiş Bombardier CRJ200 uçak modeli

CATALIST BDT merkezli bir uçak tasarım yaklaşımını desteklemektedir. Amaç tasarımcıya tasarım döngüsündeki süreçlere fayda sağlamaktır. Başka BDT yazılımına dayalı parametrik geometri modelleyiciler de mevcuttur. Örnek olarak Boeing'in Genel Geometri Üreticisi, NASA'nın Hızlı Uçak Modelleyicisi ve Avid'in Parametrik Uçak Geometri Motoru gösterilebilir [14-17].

Parametrik model aracı

Geometri model aracı, tasarım sürecinde tasarım tutarlılığını ve sağlamlığını sağlamaya yardımcı olmak için CATIA V5'te geliştirilmiştir. Model aracı, CATIA hakkında temel bilgiye sahip tasarımcıların kullanabileceği şekilde oluşturulmuştur. Önemli kriterlerden biri de tasarımcının minimum çabayla istenilen kalitede tasarımı oluşturmaya olanak sağlamaktır. Genel olarak parametrik modelleme aracının kurgusal yapısı anlatılmıştır [18].

Parametrik tasarım yaklaşımı

CATALIST, karmaşık uçak mimarilerini başarılı bir şekilde yönetebilmek için tündengelim tasarım yaklaşımını uygulamaktadır. Bir hava aracı ürününün tamamen parametrik şekilde

modellenebilmesi için en üst düzeyde hiyerarşik bir mimari ile başlaması gerekir. Bu yapı Şekil 2.2’de gösterildiği gibi bir sonraki aşamada uçak alt montaj tasarımlarına bölünerek, en alt kademede bulunan detay parça tasarımına kadar devam eder. Uçağın genel konfigürasyon modeli tasarımcı tarafından uçak ürün düzeyinde global parametreler aracılığıyla kontrol edilir. Böylece değişiklikler kolay bir şekilde bütün ürün ağacını içerecek şekilde yapılabilir.

CATALIST sistem modülünün montaj yapı kırımını;



Şekil 2.2. CATALIST mimarisinin temel kırımını

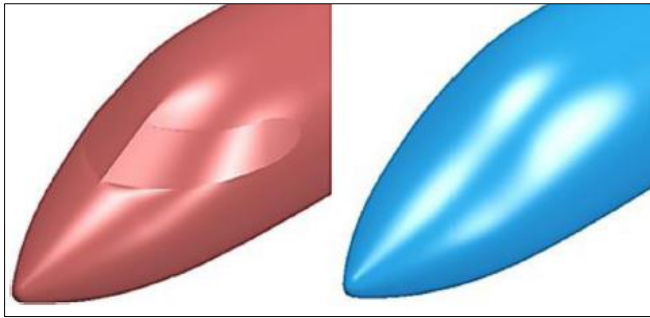
Aynı işlevselliğe sahip veya benzer parça modelleri alt montaj düzeyinde fonksiyonel gruplara ayrılmıştır. Bu yalnızca tasarımcıların model yapısını düzenlemesine yardımcı olmakla kalmaz aynı zamanda parça düzeyinde meydana gelen hatalar için bir sınırlama görevi de görür.

Her bir parça en alt düzeyde diğer parçalar ile etkileşimde olacak şekilde tasarlanır. Böylece parça üzerindeki tasarım değişiklikleri diğer parçalar üzerinde herhangi bir ek işlem gerekmeden güncelleme sağlanmış olur. Kullanıcı tanımlı parametrelerin çoğu diğer tasarımcıların da kolayca erişebileceği ve diğer ilişkilendirilmiş geometriler ile saklanır. Ayrıca uçak ürününün altındaki tasarım tabloları oluşturulmuştur. Bu tablolar aracılığıyla tasarımcılar her ürün ve parça için geçerli parametrelere değerler atayabilir. Ek olarak, bir uçak modelinin ana yapısı ve alt yüzeyleri yayınlanmış unsurlardan seçilerek bu seviyede inşa edilmiştir. Bir alt yüzey başka bir parça yüzeyinin bir bölümünü oluşturabilir. Örneğin yayınlanmış bir gövde yüzeyi kokpitin ara yüzeyini ifade eder. Yani yayınlanmış unsur bir öğeyi veya parametreyi kullanıcı topluluğuna sunan bir portal görevi görür.

CATIA V5’de tüm seviyeler arasındaki iletişim ürün ağacında “parent-child” ilişkisindeki referans bağlantılar ile kurulur [19]. Referans bağlantılar, ilgili diğer ürün ve parçalarda bulunan parametrik unsurlara, konumlarına geometrik özelliklere bağlı şekilde ilişkilendirilir. Bağlantılar tek yönlüdür ve her zaman ürün ağacındaki hiyerarşiyi takip eder. Başka bir deyişle, alt unsurun üst unsuru tanımlamada hiçbir etkisi yoktur. Bu sebeple üst unsurların yeniden ve birçok kez kullanılmasına olanak sağlar.

Uçak modelinin kalitesi, sağlam bir mimariye sahip olması yanında yüzeyleri oluşturma sırasında uygulanan tekniklere ve sınır koşullarına da bağlıdır. Alt yüzeylerin çoğu, 2B çizimlerden elde edilen profil ve kılavuz eğrilerine dayanan taslak yüzeylerdir. Bununla birlikte, kokpit ve kuyruk konisi gibi istisnai olarak tel kafes sınırları olan dolgulu yüzeyler de vardır. Yüzey kalitesine en büyük katkıyı yüzey sürekliliği sağlamaktadır. Aerodinamik ve stres analizlerinin doğrudan yüzey üzerinde gerçekleştirilebilmesi için tüm bitişik alt yüzeyler arasında teğet sürekliliği temel bir gereklilik olarak uygulanır. Parça seviyesindeki referans eğrileri yüzey kalitesi üzerinde doğrudan etkiye sahip olur. Bu nedenle, düzlemsel ve uzay eğrileri arasında da teğetlik sürekliliği uygulanır. Başarılı bir katı modelin temelini sağlamak için alt yüzeyler parça seviyesinde ayrı yüzeylerle birleştirilir ve ürün seviyesinde diğer yüzeylerle kırılır.

Bu modelleme yöntemi ile sabit bir topolojiye sahip parametrik bir modelin aksine modellemede esneklik, hız ve hassasiyet sağlamaktadır. Şekil 2.3’de CATALIST kokpit yüzeyinin üretimde kullanılan veri ile karşılaştırılması görülmektedir. Model üzerinde detaylarda kayıplar görülmektedir, fakat kavramsal tasarım aşamasında kabul edilebilir olduğundan hızlı ve pratik bir çözüm sağlar.



Şekil 2.3. Üretim verisi olarak kullanılan kokpit modeli (sol) ve CATALIST ile üretilen kokpit modeli (sağ)

En son tasarımda kullanılan kullanıcı tanımlı parametreler çıkarılarak modelleme aracına tasarım tabloları olarak eklenmiştir. Bu sayede tasarım süreci daha hızlı ve kolay olacaktır. Genel olarak her modülde etkinleştirme veya devre dışı bırakma seçeneğine sahip bireysel bir tasarım tablosu mevcuttur. Tasarım tablolarının kullanımı eski bir modeli yenileyerek yeni tasarımda oluşturmada harcanan çabayı minimuma indirir. Ayrıca CATALIST, tasarım tablolarında saklanan bir dizi ilişkili parametreyi okuyabilir ve belirli bir hava aracını yeniden oluşturabilir. Tasarım tablolarında yapılan tüm değişiklikler model oluşturma aracı tarafından tanınır ve güncellendiğinde nihai uçak modeline yansıtılır. Modellemeyi tamamlama sonrası CATALIST, nihai bir tasarım tablosu aracılığıyla ilgili geometrik bilgileri türetir. Geometriden yüzey alanları, uçak bileşenlerinin ağırlık merkezleri, referans kanat parametreleri, iç hacimler vb. gibi kapsamlı bir türetilmiş ilgili değerler kümesi çıkarılabilir [20].

Bu kapsamda parametrik tasarım modülü Şekil 2.4’de gösterildiği gibi dört ana başlık altında modüler şekilde oluşturulmuştur. Bunlar;



Şekil 2.4. CATALIST dört ana modülün genel gösterimi

Dış bileşenler

Dış bileşenler modülü, çeşitli parametrelerden oluşan konvansiyonel ve konvansiyonel olmayan uçak konfigürasyonlarının dışını oluşturmak için tasarlanmıştır. Bu modülde gövde, kanat, dikey / yatay dengeleyiciler ve motor ünitesi ele alınır. Ana yapıların çoğu birincil ve ikincil seçenekleri oluşturularak modele yerleştirilmiştir. Dış bileşenlerin alt parçaları şunları içerir:

- Kanat
- Gövde
- Motor
- Yatay Sabitleyici
- Dikey Sabitleyici
- Kaporta

Benzer şekilde tasarlanmış tüm bileşenler birbiri yerine kullanılabildiği için tasarımda esnekliği artırır. Diğer temel özellikler ise asimetric konfigürasyon kabiliyeti, çeşitli kuyruk konfigürasyonları (V-Kuyruk, H-Kuyruk, Y-Kuyruk) ve otomatik 3-Boyutlu BDT görünümünün oluşturulmasıdır. CATALIST ayrıca uçağın kapalı yüzey formunu oluşturarak hesaplamalı aerodinamik analizlerinde kullanılabilir bir tasarım da sağlar.

İç bileşenler

İç bileşenler modülü hava aracının iç mekanını oluşturmak için kullanılır. Bir uçağın dış yüzeyi tanımlandıktan sonra bu modül kabinin tasarlanmasına ve boyutlandırılmasına yardımcı olacaktır. Ayrıca kabin içi düzeni, oturma düzeni ve tuvalet boyutlandırma vb. yapıları tanımlamada da kullanılır. İç bileşenler ticari ve iş amaçlı kullanılacak hava araçlarının iç mekân tasarımlarına seçenek sağlamak amacıyla oluşturulmuştur. Bütün iç modüller tasarımları iç düzen ve bileşenlere göre yeniden boyutlandırılabilir ve düzenlenebilir. İç modülün ayrıntılı bir dökümü şu şekilde olabilir:

- Bagaj
- Koltuklar
- Lavabo
- Gardırop
- Mutfak

Dış bileşenler modülüne benzer şekilde, tüm bileşen parametreleri bir tasarım tablosuna bağlanır ve çok sayıda bileşen kütüphanede depolanır. Bu bileşenler tasarımcının yeni bir tasarım oluştururken başlangıç noktası olarak kullanmasına olanak sağlar.

Uçak yapısı

Yapı modülü başta gövde, kanat ve kuyruk olmak üzere ana çerçeve, kapılar, pencereler, kargo bölmeleri gibi birincil seviye yapısal bileşenleri içermektedir. Kanat yapısı içerisinde ise yakıt tankı ve kirişler gibi ana yapıları içerir. Amaç ön tasarım aşamasında pratiklik sağlamak olduğundan ikincil yapılar gelecek çalışmaların konusu olarak planlanmıştır. Aşağıda yapısal için kullanılan kırımın gösterilmiştir.

- Kirişler
- Dikmeler
- Kapılar
- Pencereler
- Yakıt Deposu
- Kargo bölümü

Çok yönlülük sağlamak için modül tasarımcıların pencereleri dikdörtgen şekillerden oval şekillere değiştirmesine, yakıt tankı sayısına, zemin altı kargo bölümlerinin düzenini belirlemeye ve global endüstri standartlarına göre hazırlanmış kapı tasarımlarına kadar olanak sağlar. Bu veriler kütüphanede saklanır ve tasarımcının tasarımı en baştan çizmesine gerek kalmadan bir tasarım çıkarmasına yardımcı olur.

Sistemler

Sistem modülü uçuş kontrollerinden ve sistem yer tutucularını içerir. Bunlar görselleştirme, ilk boyutlandırma ve dengeleme çalışmaları için kullanılmaktadır. Aşağıda sistem modülü kırımını gösterilmiştir. Kullanıcılar bu modül sayesinde yüzey alanları, sistemlerin hareket ettikleri hacmi çıkarabilir. Ek olarak ağırlık ve denge analizleri için gerekli hacmini ve ağırlık merkezlerine ait bilgiler de elde edilebilir.

- Uçuş Kontrol Sistemleri
- İniş Takımı Sistemleri
- Basınçlandırma Sistemleri
- Aviyonik Sistemler

Bombardier Havacılık şirketi geliştirdiği parametrik modüler araç sayesinde kavramsal ve ön tasarım aşamasındaki iş gücünü çok önemli ölçüde düşürmüştür. Bu sayede bir yandan kalitede ve diğer yandan esnek modellemede verim artışına yardımcı olmuştur. Ek olarak mevcut kütüphanelerin kullanılmasıyla tasarımda harcanan çabada büyük ölçüde düşüş sağlanmıştır [20].

2.4.2. Endüstriyel ürünlerde parametrik tasarımın kullanımı

Basınçlı tüpler

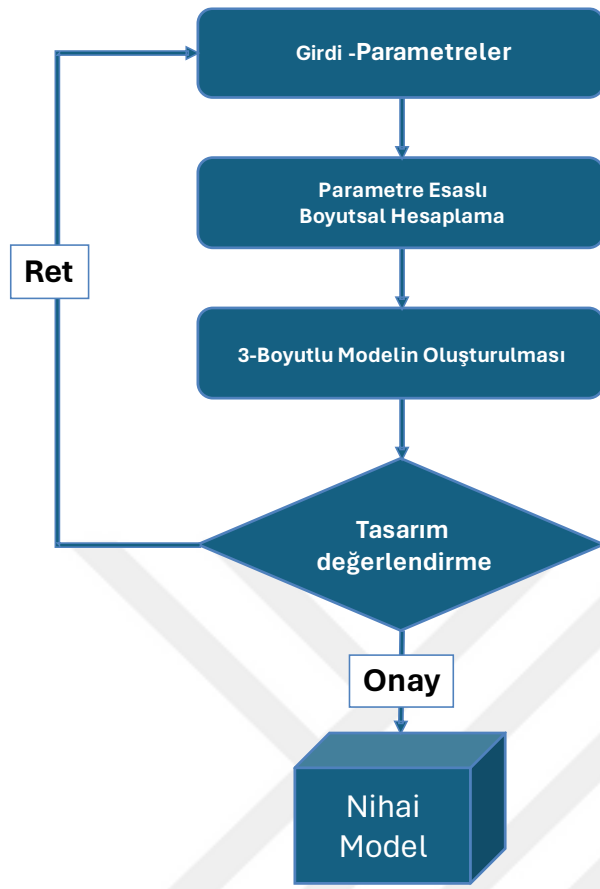
Basınçlı kaplar birçok endüstride hayati bir rol oynamaktadır ve endüstrinin önemli bir parçası olarak kabul edilir. Bu nedenle, basınçlı bir kabın çalışma alanında güvenli bir şekilde çalışması ve montaj edilmesi çok önemlidir. Genel olarak basınçlı kaplarda görülen arızaların ana nedenleri hatalı tasarım ve stres konsantrasyonudur. Basınçlı kaplar, kabın performansını etkileyen basınç ve sıcaklık ve gibi farklı ortam ve koşullar altında çalışırlar. Ne yazık ki günümüzde, basınçlı kap kazaları çok fazla olmaktadır [21]. Basınçlı kap üzerindeki açıklıklar kaçınılmazdır ve bu açıklıkların bulunduğu bölgelerde stres konsantrasyonu çok daha yüksektir. Arıza riskini en aza indirmek için, nozul çapının (a açıklığın) ve konumunun optimizasyonu gereklidir. Optimizasyon, bir nozul için verilen tasarım basıncında gerilimi en aza indirgeyecek şekilde yapılır. Silindirin uzunluğu boyunca farklı bir yerde bulunan delikli flanşlara sahip basınçlı kap silindiri için optimize edilmiş

sonuç, silindir uzunluğunun 1/8'i olarak bulunmuştur. Ayrıca, deliğin konumu ve boyutu silindirin boyutuna bağlıdır [22]. Basınç kabı için boyut ve şekil optimizasyonu, stres yoğunluğunu en aza indirmek için gerçekleştirilir. Optimizasyon açısından bir dizi Sonlu Eleman Analizi (FEA) yapılmalıdır. Nozul çapı ve konumu gibi her bir parametre için ayrı bir FEA analiz varyasyonu gereklidir. Nozul çapı değiştiğinde nozul kalınlığı, yüksekliği ve dengeleme kalınlığı gibi parametreler de etkilenir. Boyutlardaki her değişiklik için basınçlı kabı tasarlamak ve modellemek çok meşakkatli bir iştir. Bu durumda, parametrik tasarım veya parametrik modelleme problemin çözüm yöntemi olabilir. Parametrik modelleme, gerçekte birbirleri ile ilişkide olan parametrelerin kullanımı ile oluşturulan formu ifade eder [6]. Parametrik modelleme, verilen bileşenin yeniden tasarlanması ve modellenmesi iş yükünü azaltır. Parametrik BDT yazılımını FEA yazılımına bağlayarak optimizasyon için parametrik modellemenin avantajından yararlanılabilir. Bu çabaları azaltır ve geleneksel yöntemle göre daha kısa sürede optimum bir çözüm sağlar.

Basınçlı tüpün parametrik olarak modellenmesi

Endüstri ve tasarım firmaları istenilen tasarımı elde edene kadar birçok gereksiz uygulamalara ihtiyaç duyarlar. Parametrik modelleme uygulamaları bu gereksiz işi azaltmaktadır. Bu sayede kullanıcılar yeniden tasarlamak yerine modeli düzenleyebilirler. Yapılan araştırmalara göre Rusya'daki bir dizi ana sanayi şirketinden elde edilen verilere göre tasarımcının çalışma süresinin %60-80'i mevcut tasarımları değiştirmek için harcanmaktadır [23].

Her seferinde yeniden tasarlama ve düzenleme çok zaman almaktadır. Parametrik yaklaşım daha hızlı, ekonomik ve esnek çözümler sağlar. Chetan Chandrakant Jadhav ve arkadaşları aşağıdaki Şekil 2.5'de parametrik BDT modeli oluşturmaya ait bir akış şeması önermişlerdir.



Şekil 2.5. Parametrik modellemeye ait bir akış şeması

Çizelge 2.1’de gösterildiği gibi basınçlı kaplarda, nozul kalınlığı basınçlı kap kalınlığına, malzeme özelliklerine, iç basınç ve nozul çapına bağlıdır [24-26].

Çizelge 2.1. Basınçlı kap tasarım parametreleri

Parametre	Sembol	Değer	Birim	Tip
İç çap	D_i	2.684	Mm	Uzunluk
Nozul çapı	D_n	500	Mm	Uzunluk
Nozul lokasyon 1	L_{N1}	4.000	Mm	Uzunluk
Nozul lokasyon 2	L_{N2}	54.00	Mm	Uzunluk

Çizelge 2.1'deki parametreler NX'de tanımlanarak Şekil 2.6'deki model oluşturulmuştur.



Şekil 2.6. İki nozul deliği ile oluşturulmuş 3B tasarım modeli [27].

Bu sayede optimizasyon aşamasında otomatik bir şekilde güncellenmesi sağlanmıştır. Şekil 2.7'de optimizasyon için gerekli genel süreç tanımlanmıştır. Burada model ile parametreler arasında gerekli bağlantılar kurulduktan sonra yapısal analiz ile iteratif bir çalışma yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda ihtiyaç duyulan güncellemeler kolay bir şekilde işlenmiştir.



Şekil 2.7. Optimizasyon süreci

Bu alışmada Chetan Chandrakant Jadhav ve arkadaşları bir basınçlı tpde nozul bölgesi, basınçlı tüpün çapı ve kalınlığı gibi parametrelerin yapısal anlamda etkilerini araştırmışlardır. Birçok farklı parametre olduğundan modelleri en baştan oluşturmak çok fazla zaman alacaktır. Bu nedenle zaman ve iş gücünden tasarruf sağlamak için kolay bir şekilde farklı konfigürasyonların modellenmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bunu da parametrik tasarım oluşturarak ve gerekli bağlantıları kurarak otomatik bir şekilde güncellenmesi ve farklı konfigürasyonda modeller kolay bir şekilde oluşturulmuştur [27].



3. KAVRAMLAR

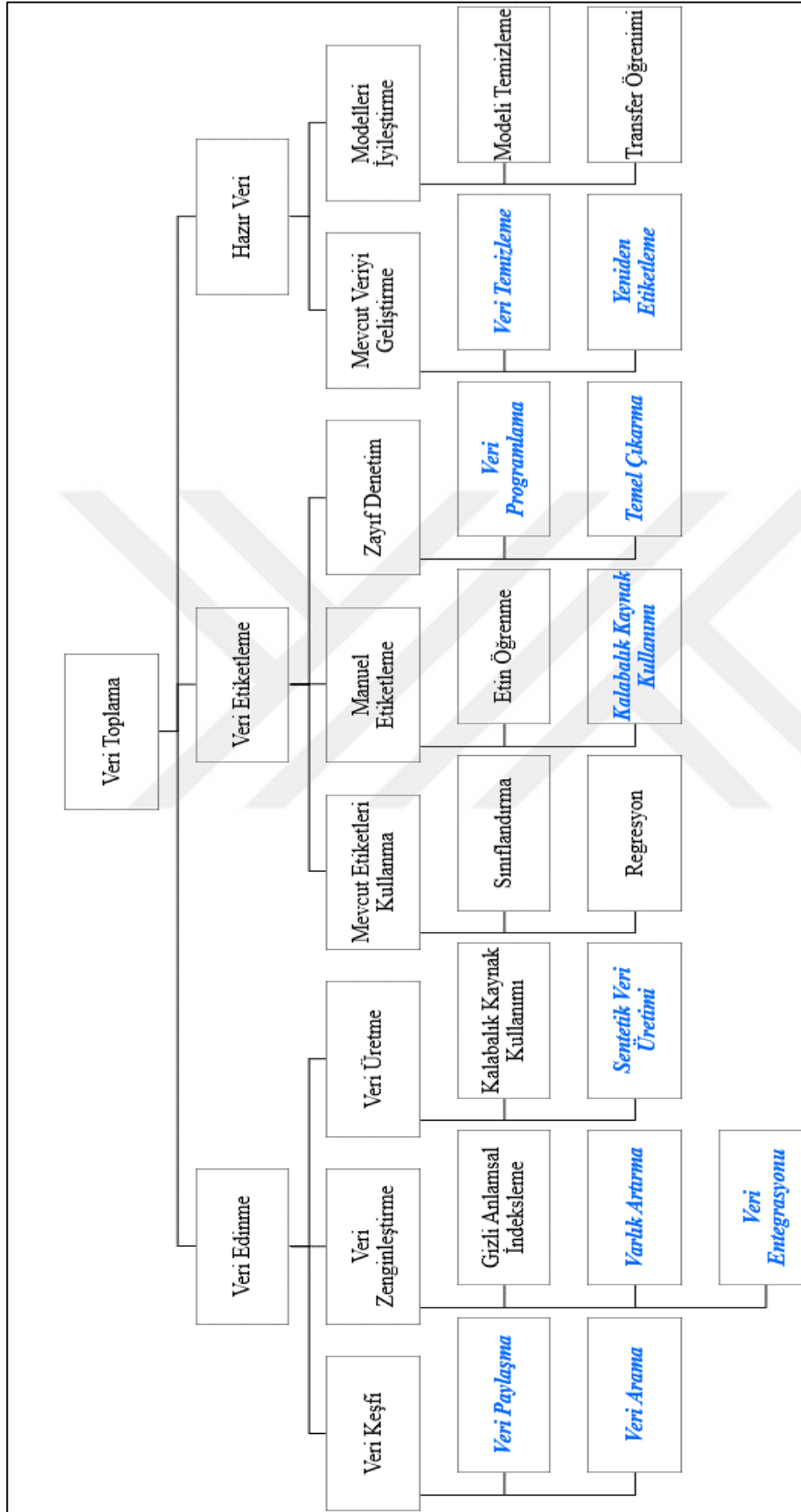
3.1. Veri Yapıları

Günümüzde makine öğreniminin metin anlama, görüntü alma, konuşma tanıma ve sağlık hizmetleri gibi geniş bir uygulama yelpazesi üzerinde etkisi bulunmaktadır. Çarpıcı bir örnek olarak, derin öğrenme tekniklerinin diyabetik göz hastalıklarını tanımlamada oftalmologlarla benzer sonuçlar elde ettiği bilinmektedir [28]. Son dönemdeki başarının büyük bir kısmı, daha iyi hesaplama altyapısı ve büyük miktarda Train Veri Seti'ne (TVS) dayanmaktadır. Makine öğrenimindeki birçok zorluktan biri olan veri toplama, giderek kritik bir ihtiyaç haline gelmektedir. Makine öğreniminin gerçekleştirilmesi için harcanan zamanın çoğunluğu veriyi hazırlamak için gerektiği bilinmektedir. Bu süreç veri toplama, temizleme, analiz, görselleştirme ve özellik mühendisliği adımlarını içermektedir. Tüm bu adımlar hepsi zaman alıcı olsa da veri toplama son zamanlarda birçok nedenden dolayı en zor basamak haline gelmiştir.

İlk olarak, makine öğrenimi yeni uygulamalarda kullanıldığı zaman genellikle yeterli eğitim veri seti bulunamamaktadır. Makine çevirisi veya nesne algılama gibi onlarca yıldır biriktirilen geleneksel uygulama alanlarında büyük miktarda TVS ulaşılabilir. Diğer yandan daha yeni uygulamalarda az veya hiç TVS yoktur. Örneğin otomatikleşen akıllı fabrikalarda, ürün kalite kontrolünün makine öğrenimi ile gerçekleştirilmesi yaygınlaşmaktadır. Yeni bir ürün çıktığında veya tespit edilmesi gereken yeni bir kusur eklendiğinde, bu konularda yeteri kadar TVS bulmak çok zor hatta imkansızdır. Yeni kusuru ya da yeni ürünü el ile etiketleme metodu ile gerçekleştirmeye kalktığımızda maliyetli ve alan uzmanlığı gerektirdiği için mantıklı olmayabilir. Bu sorun makine öğreniminden faydalanarak üretilen herhangi bir yeni uygulama ile çözülebilir. Üstelik derin öğrenme popüler hale geldikçe, TVS'ye olan ihtiyaç daha da artmaktadır. Özellik / unsur mühendisliği, geleneksel makine öğreniminde kullanıcının uygulamayı anlaması ve TVS modelleri için gerekli unsurları sağlaması adına kritik bir öneme sahiptir [29]. Öte yandan derin öğrenme, otomatik olarak unsurlar üretebilir, bu da bizi özellik / unsur mühendisliğinden kurtarır ve veri hazırlamanın önemli bir kısmını oluşturur. Karşılığında ise derin öğrenmenin iyi performans gösterebilmesi için daha fazla eğitim TVS'ye ihtiyaç duymaktadır [30].

Sonuç olarak, büyük veri çağında doğru ve ölçeklenebilir veri toplama tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kısmın hazırlanmasındaki motivasyon da veri yönetimi açısından genel bir yaklaşımın sunulmasıdır. Veri toplama için genel olarak üç yöntem bulunmaktadır. İlk olarak, yeni veri kümelerinin aranması ve paylaşılması hedefleniyorsa veri edinme teknikleri kullanılarak veri kümeleri keşfedilebilir, artırılabilir veya oluşturulabilir. İkinci olarak, veri kümeleri mevcut olduğunda çeşitli veri etiketleme teknikleri kullanılarak bireysel örnekler etiketlenebilir. Son olarak, yeni veri kümelerine etiketleme yapmak yerine mevcut verileri iyileştirmek veya TVS modelleri üzerinde geliştirme yapmak da bir seçenektir. Bu üç yöntem kesinlikle farklı olmak zorunda değildir ve birlikte kullanılabilir. Örneğin, daha fazla veri kümesi aranabilir ve etiketlenebilirken aynı zamanda mevcut veriler iyileştirilebilir.



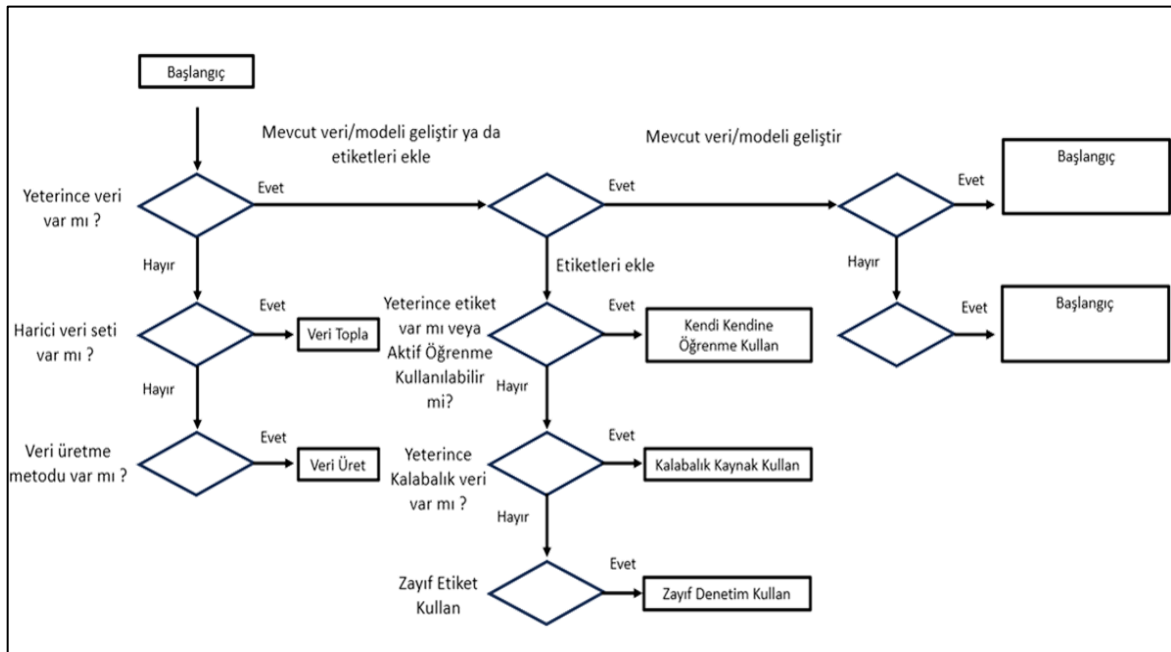


Şekil 3.1. Veri toplama yollarının şematik gösterimi

Farklı bir açıdan da bakılırsa, veri toplama tekniklerinin kullanımının yalnızca geleneksel makine öğrenimi ve yoğun bir şekilde makine öğreniminin kullanıldığı doğal dil / görüntü işleme de kalmadığını, aynı zamanda veri yönetimi topluluğu tarafından da onlarca yıldır incelendiğini göstermektedir. Bu inceleme genellikle veri bilimi ve veri analitiği adı altında değerlendirilmektedir. Şekil 3.1’de genel olarak veri yönetimi topluluğuna katkıları olan araştırma konuları mavi ve italik olarak belirtilmiştir.

Makine öğrenimi büyük miktarda TVS üzerine kurularak gerçekleştirilmesi gerektiğinden, büyük veri kümelerini nasıl elde edeceği, ölçekle veri etiketleme nasıl yapılacağı ve büyük miktarda mevcut verinin kalitesini nasıl artırabileceği gibi veri yönetimi sorunları kritik hale gelir. Dolayısıyla, veri toplamanın araştırma alanını tam anlamak için hem makine öğrenimi hem de veri yönetimi topluluklarının literatürünü genel olarak anlamak gereklidir.

Veri yönetimi neredeyse tüm makine öğrenimi ve derin öğrenme çalışmalarında rol oynar [31]. Bu kısımda, veri toplama konuların tüm derinliklerine inmeden temelleri üzerine odaklanılmıştır. İlgili veri toplama tekniklerinin hangi amaçlar için kullanıldığı ve araştırma zorluklarının neler olduğu bu bölümde belirtilmektedir.



Şekil 3.2. Veri üretiminde izlenilecek adımların akış şeması

Bir akıllı fabrika uygulamasından örnekleme yapılarak Şekil 3.2'deki teknikleri anlatmaya çalışılmıştır. Akıllı bir fabrikada ürün kalitesi üzerinde çalışan bir veri bilimcisi ele alınırsa. Ve çalıştığı fabrika olarak da dişliler gibi imalat bileşenleri ürettiğini varsayalım. Bu bileşenlerin çizik, iz, çökük veya herhangi bir yabancı madde içermemesi önemlidir. Veri bilimcisi, bileşenlerin görüntülerini kullanarak her ürünün kusurlu olup olmadığını otomatik olarak sınıflandırmak için bir TVS modeli oluşturmak istesin. Bu uygulama senaryosu Şekil 3.2'de tasvir edilmiştir. Veri bilimcisinin kullanabileceği veri toplama tekniklerinin genel bir karar akış şeması da Şekil 3.2'de gösterilmiştir. İlk bakışta şema karmaşık görünebilir, fakat veri toplama için bilinçli kararlar vermek adına tüm araştırma alanını anlamak gereklidir. Buna karşın, son zamanlarda yaygınlaşan ticari araçlar [32], tüm olası veri toplama tekniklerinin yalnızca bir alt kümesini kapsar. Şemayı kullanırken veri edinimi, veri etiketleme veya mevcut veri iyileştirmelerinden birine karar verilir ve ardından her işlem için hangi özel tekniklerin kullanılacağı seçilir. Örneğin veri yoksa kamera ekipmanı kullanılarak veri kümesi oluşturulabilir. Daha sonra bütçe varsa, ürünlerdeki kusur görüntülerini etiketlemek için “Amazon Mekanik Türk” gibi topluluk platformları kullanılabilir.

3.1.1. Veri edinme

Veri edinmenin amacı, makine öğrenimi modellerini eğitmek için kullanılacak veri kümeleri bulmaktır. Literatürde büyük ölçüde üç yaklaşım bulunmaktadır:

Veri keşfi

Veri keşfi, yeni veri kümelerini paylaşmak veya aramak istendiğinde gereklidir. Web ve kurumsal veri havuzlarında daha fazla veri kümesi mevcut olduğundan önem kazanmıştır.

Veri zenginleştirme

Veri zenginleştirme, mevcut veri kümelerine daha fazla dış veri ekleyerek gerçekleştirilen bir işlemdir.

Veri üretimi

Veri üretimi, dış veri kümesi mevcut olmadığında ancak topluluk tarafından sağlanan veri kümesi veya sentetik veri kümesi oluşturulabileceğinde kullanılabilir.

3.1.2. Veri etiketleme

Yeterli veri edinildikten sonra, bireysel örnekler etiketlenir. Örneğin, akıllı bir fabrika uygulamasındaki endüstriyel bileşenlerin görüntü veri kümesi verildiğinde, bileşenlerde herhangi bir kusur olup olmadığı araştırılır. Birçok durumda, veri edinimi veri etiketlemeyle birlikte gerçekleştirilir. Web'den gerçekleri çıkarırken ve bir bilgi tabanı oluştururken, her gerçek doğru kabul edilir ve dolayısıyla zımni olarak doğru olarak etiketlenmiş sayılır. Veri etiketleme kapsamında, teknikler oldukça farklı olabileceği için bu veri edinmeden kolayca ayrılabilir.

Mevcut etiketleri kullanma: Veri etiketlemenin erken bir fikri, zaten var olan etiketleri kullanmaktır. Yarı denetimli öğrenme konusunda geniş bir literatür bulunmaktadır. Temel fikir, etiketlerden öğrenerek geri kalan etiketleri tahmin etmektir.

Kalabalık temelli

Tekniklerin bir sonraki kümesi, kalabalık kaynağına dayanmaktadır. Basit bir yaklaşım, bireysel örnekleri etiketlemektir. Daha gelişmiş bir teknik ise daha dikkatlice seçilen sorularla aktif öğrenmeyi kullanmaktır. Daha yakın zamanda, birçok kalabalık kaynak teknikleri, çalışanların etiketlemede daha etkili olmalarına yardımcı olmak amacıyla önerilmiştir.

Zayıf etiketler

Her zaman doğru etiketler üretmek istenirken, bu süreç maliyetli olabilir. Alternatif bir yaklaşım, iyi veya normal etiketleri oldukça çok üretmek olabilir. Böylece düşük kalitenin telafisi yapılabilir. Son zamanlarda bu yaklaşım, birçok yeni uygulamada etiketli verinin sınırlı olması nedeniyle daha fazla rağbet görmektedir.

Makine öğrenimi görevi

Denetimli öğrenmede, iki kategori sınıflandırma (örneğin, bir metin parçasının olumlu bir duygu içerip içermediğini belirleme) ve regresyon (örneğin, bir kişinin maaşını tahmin etme) olabilir. Veri etiketleme araştırmaları genelde, muhtemelen sınıflandırma ortamında veri etiketleme daha basit olduğu için, regresyon problemleri yerine sınıflandırma problemleri üzerinde odaklanır.

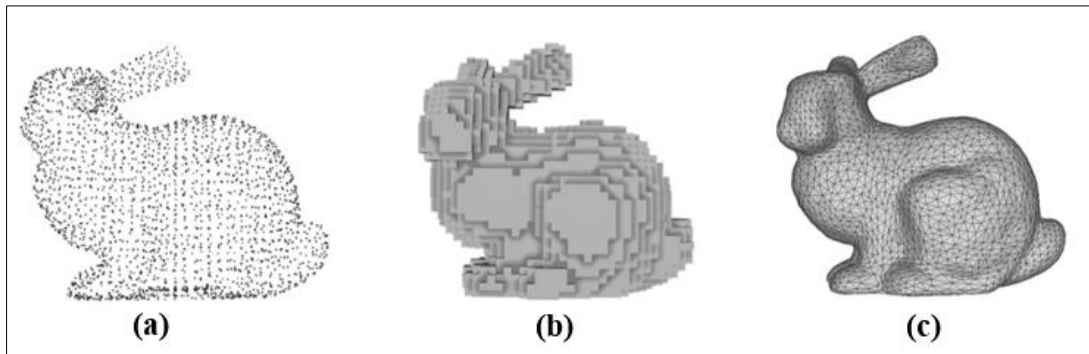
Veri türü

Veri türüne göre (metin, görüntü ve grafik gibi) veri etiketleme teknikleri büyük ölçüde farklılık gösterir. Örneğin, metinden gerçekleştirilen gerçek çıkarım görüntülerde nesne tespiti yapmaktan oldukça farklı olabilir [32].

3.2. 3B Modelleme

3.2.1. 3B model gösterim yöntemleri

3B veriler genel olarak derinlik görüntüleri, nokta bulutları, kafesler ve hacimsel ızgara şeklindeki birimler dahil olmak üzere farklı formatlar ile temsil edilebilir.



Şekil 3.3. (a) Nokta bulutu, (b) Voksel (c) Poligon mesh

Voksel

Vokseller, uzayda tanımlanan 3B ızgara şekline benzeyen birimlerin düzenli geometri türüdür. 2B görüntülerdeki piksellerin de 3B karşılığı olarak düşünülebilir. Kavramsal açıdan bakıldığında altı yüzden, sekiz köşeden ve on iki kenardan oluşan kübik bir

geometriye sahiptir. Ancak hiçbir zaman çok yüzlü küpler olarak saklanmazlar. Bunun yerine voksel tabanlı gösterimler (Şekil 3.3. (b)), tüm küpü temsil etmek için küpün merkez noktasını veya köşe noktalarını (yani tepe noktasını) kullanır. İki ayrı vokselin aynı yüzü, tepe noktasını veya kenarı paylaşıyorsa bu iki voksel komşu olarak kabul edilir. Voksel, düzenli bir kübik ızgaradaki bir konumu temsil etmektedir. Temel olarak ayırık noktaların oluşturduğu bir alanı soyutlaması sonucunda yapılandırılan birimlerin bu konumda resme dönüştürülmüş haline voksel denir. Tüm nokta bulutu voksellere bölünmüştür. Burada belirli bir vokselin içindeki bölünmüş noktalar bu voksel tarafından temsil edilir. Vokselleştirme, bir noktanın voksel ızgarasına dönüştürülmesini, voksellerin içindeki noktalar tarafından oluşturulan veya gömülen geometrilerini ve öz niteliklerinin tahmin edilmesini içerir. [33].

Nokta bulutu

Verilerin depolanması için kullanılan ana formatlardan birisi de nokta bulutlarıdır. 3B koordinat sisteminde geometrik koordinatlara sahip noktaların toplanarak oluşturdukları yapılar nokta bulutu olarak tanımlanır (Şekil 3.3. (a)) [34]. Bir nesnenin dış yüzeylerini veya 3B geometrisini temsil etmesi amacıyla kullanılır. Çeşitli sensörlerin ve teknolojilerin uyumu ile inşaat ve altyapı gibi uygulamalar için kullanılmaktadır. Bu yöntemler 3B lazer tarama, fotogrametri, video grametri, RGB-D kameralar ve stereo kameralar olarak kategorize edilmiştir [35]. Lazer tarayıcılar ve RGB-D kameralar nokta bulutları oluşturmak için derinlik algılama sensörlerini kullanırken fotogrametri, video grametri ve stereo kameralar nokta bulutları oluşturmak için 2B görüntüleri ve görüntü işleme tekniklerini kullanır. Her bir nokta bulutu oluşturma yönteminin avantajları ve sınırlamaları karşılaştırıldığında lazer tarayıcıların, inşaat ve altyapı ile ilgili uygulamalar için gerekli olan yüksek doğruluk ve ölçüm aralığı nedeniyle diğer yaklaşımlara göre önemli ölçüde avantajlı olduğunu göstermiştir [35].

Nokta bulutu işleminin ana adımları şunlardır;

- Birden fazla nokta bulutunu tek bir koordinat sisteminde birleştirilmesi,
- Benzer noktaları homojen bölgeler halinde gruplama işlemi;
- Noktaları belirli kategorilere ayırma;
- Nokta bulutlarındaki nesneleri tanıma ve yerlerini belirleme [36].

Poligon mesh

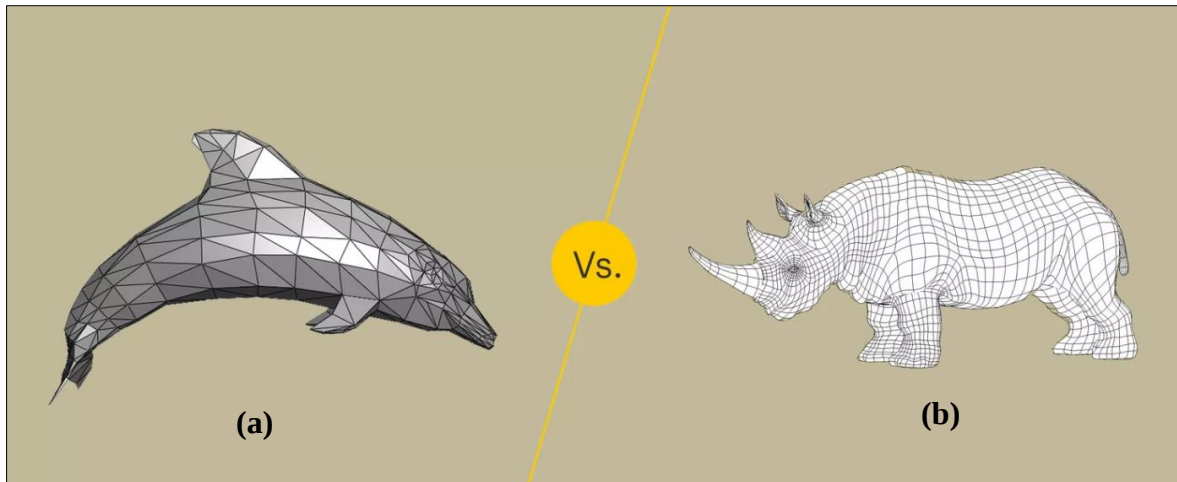
Poligon mesh modelleme, bilgisayar grafikleri, BDT, oyun geliştirme ve animasyon gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılan bir modelleme yöntemidir. Bu yöntem, uzayda 3B nesneleri temsil etmek için poligon adı verilen düzgün kenarlı çokgenler kullanır.

Bu yöntem, bir nesnenin yüzeyini tasarlamak için üçgenler, dörtgenler veya daha karmaşık çokgenler kullanır (Şekil 3.3. (c)). Bu yüzey, poligonlarla birbirine bağlanarak oluşturulur. Bu poligonlar, hesaplamanın daha basit olması sebebiyle genellikle üçgenler veya dörtgenlerden oluşur [37].

Poligon mesh modelleme, kullanımı kolay, esnek ve geniş bir modelleme aracıdır. Karmaşık geometrilerin yanı sıra, organik 3B şekillerinde oluşturulması kolaydır. Fakat, bazı dezavantajları da vardır. Örneğin yüzeyin pürüzsüz olmasını sağlamak için daha fazla poligon gerekebilir ve bu da tasarımın dosya boyutunu artırabilir. Bu sebeple hesaplama yapmak daha zor hale gelebilir.

Poligon mesh modelleme, grafik tasarım endüstrisinde yaygın olarak kullanılır. Ayrıca, prototipleme, mimari tasarım ve endüstriyel tasarım gibi alanlarda da sıkça kullanılır. Popüler 3B modelleme yazılımları, poligon mesh modelleme için geniş araçlar ve özellikler sunar.

3.2.2. 3B modelleme teknikleri



Resim 3.1. (a) Mesh modelleme, (b) NURBS modelleme

Mesh modelleme

Mesh verileri, 3B modelleri oluşturmak ve depolamak için bilgisayar grafiklerinde baskın olarak kullanılan köşelerin, kenarların ve yüzlerin bir araya gelerek oluşturduğu yapıdır (Resim 3.1. (a)) . Mesh verileri karmaşık ve düzensiz bir yapıya sahiptir. Meshlerin birden fazla elemandan oluşması ve bunlar arasında farklı bağlantı türlerinin tanımlanabilmesi karmaşıklık olarak tanımlanır. Düzensizlik ise, mesh verilerinin işlenmesinde karşılaşılan bir diğer zorluktur. Bu da meshteki eleman sayısının 3B şekiller arasında önemli ölçüde değişebileceğini ve bunların permütasyonlarının isteğe bağlı olduğunu gösterir. Bunlara rağmen mesh, 3D şekil tanımlaması için diğer veri türlerine göre daha güçlü bir yeteneğe sahiptir. Fakat mesh verilerini kullanarak 3B şekillerin etkili bir şekilde temsil edilebilmesi zordur.

Mesh verileri, diğer popüler veri türlerine kıyasla 3B şekilleri tanımlamakta daha başarılıdır. Hacimsel ızgara, çoklu görünüm ve nokta bulutu gibi doğal verilerin düzensizliğini önlemek için tanımlanan veri türleridir. Mesh modellemede orijinal nesnenin bazı doğal bilgilerin kaybı söz konusu olabilir. Nokta bulutu için, rastgele örneklemede kaynaklanan belirsizlikler olabilir ve belirsizlik daha az sayıda nokta ile daha belirgin hale gelir. Buna karşılık, mesh model daha nettir ve daha az doğal bilgi kaybeder. Ayrıca, yerel yapıları yakalarken, nokta bulutuna dayalı çoğu yöntem, daha sonraki işlemler için yaklaşık olarak bir bitişiklik matrisi oluşturmak üzere en yakın komşuları toplarken, mesh modellemede yapıyı net bir şekilde göstermek için açık bağlantı ilişkilerine ihtiyaç duyar [38].

Nurbs modelleme

Tekdüze olmayan rasyonel B-spline eğrileri (NURBS), Pierre Bezier'in 1960'ların sonu ve 1970'lerin başında Bezier eğrileri ve yüzeylerini geliştirdiği çalışmalar sayesinde ortaya çıkmıştır. Güçlü yönleri ve esneklikleri sayesinde NURBS kullanımı hızla yayılmıştır. NURBS kullanımı tasarım alanına esneklik ve hassasiyet katmıştır. NURBS'nin en önemli özelliği konik eğrileri ve yüzeyleri hassas bir şekilde temsil edebilmesidir. Böylece NURBS modelleme sistemi, sadece düz çizgilerden, düzlemlerden, hassas dairelerden ve kürelerden değil aynı zamanda karmaşık yüzeylerin temsilde kullanılabilir [39].

NURBS, "Non-Uniform Rational B-Splines"ın kısaltmasıdır ve bilgisayar destekli tasarım (BDT) ve bilgisayar grafikleri gibi alanlarda kullanılan bir matematiksel modelleme tekniğidir. NURBS, karmaşık yüzeylerin ve eğrilerin temsili için kullanılır [39].

Bu modelleme tekniği, spline eğrilerini ve yüzeylerini tanımlamak için kullanılır. Spline, düğümler arasındaki keskin köşeler olmaksızın pürüzsüz bir eğri veya yüzey oluşturmak için birbirine bağlanmış düğümlerden oluşan matematiksel bir kavramdır (Resim 3.1. (b)) [39].

NURBS modelleme, karmaşık geometrik şekillerin ve yüzeylerin oluşturulmasını sağlar ve bu şekillerin düzenlenmesini, değiştirilmesini ve analiz edilmesini kolaylaştırır. Özellikle endüstriyel tasarım, otomotiv tasarımı, gemi yapımı, film ve animasyon gibi birçok alanda kullanılır. NURBS modelleme, kullanıcıya uygulama kolaylığı, esneklik ve kontrol sağlar. Gerçekçi ve karmaşık modeller oluşturmak için güçlü bir araçtır. NURBS modellemenin avantajları;

- Karmaşık yüzeylerini oluşturmak kolaydır.
- Mühendislik uygulamaları için daha net ve imalata yönelik ürünler tasarlanması daha kolaydır.
- Tasarım verilerini farklı modelleme, animasyon veya mühendislik yazılımlarına aktarılabilir.
- Çeşitli organik 3B şekiller oluşturmaya yardımcı olur.
- Diğer modelleme tekniklerinin aksine, NURBS geometrisini temsil etmek için daha az mühendislik bilgisine ihtiyaç vardır ve bu sayede her tasarımcı bu yöntemi kolaylıkla uygulayabilir.

Çizelge 3.1. Parametrik tasarım temel esaslı kullanılan ticari programlar

Ticari Sistem	Temel İşlevler ve Kullanımları
Rhino – Grasshopper	✓ Rhino, NURBS modelleme (Non-uniform rational B-spline) üzerinde çalışır. ✓ Mimarlık, mühendislik ve mücevher tasarımı da dahil olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılır. ✓ Programlama dili olmasına rağmen kullanmak için herhangi bir programlama dili bilmeye gerek yoktur. ✓ İlişkili birçok eklenti performans, yapısal analizler ve imalat vb. için de kullanılabilir.
Solidworks	✓ Planlama, üretim, simülasyonlar ve doğrulama için çok sayıda araç içerir. ✓ Parametrik modellemeye ek olarak Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT), Bilgisayar Destekli İmalat (BDİ) ve Bilgisayar Destekli Mühendislik (BDM) sistemlerini de birleştirir. ✓ Modelleme dışında model, maliyet ve üretilebilirlik kontrollerinin tahmininde de kullanılabilir. ✓ Bu yazılım ile üründen mekaniğe ve parametrik mimariye kadar birçok tasarım verimli bir şekilde yapılabilir.
CATIA	✓ Parametrik modellemenin yanında Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (PLM) yazılımı olarak ürün tasarımı için yaygın olarak kullanılmaktadır. ✓ Otomotiv ve havacılık endüstrilerinde çok fazla kullanımı olan ticari bir uygulamadır. ✓ Şekillendirme modellemesini (kontrol noktaları manipülasyonu) parametrik ilişkisellik ile birleştirir. Bu durum tasarımcıların daha fazla yaratıcı fikir ve değişikliklere odaklanmasını mümkün kılar. ✓ Ürünün kullanıcı gereksinim ve deneyiminin daha iyi simüle edilmesi ve doğrulanması için sanal insan modelleri oluşturabilir. Bu özellik ergonomi ve güvenlik kontrolleri için insan avatarlarına ihtiyaç duyulan otomotiv endüstrisinde bir avantajdır. ✓ Elektrik, su / kalorifer tesisatı ve mekanik bileşenler oluşturulmasına da olanak tanır.

Çizelge 3.1. (devam) Parametrik tasarım temel esaslı kullanılan ticari programlar

Ticari Sistem	Temel İşlevler ve Kullanımları
Fusion 360	✓ Ürün tasarımı ve üretimi için CAD, CAM ve baskılı devre kartı (PCB) özelliklerini entegre ederek bulut tabanlı bir 3B modelleme yazılımıdır. ✓ Parametrik ve parametrik olmayan veya doğrudan örgü ve yüzey modelleme araçlarını içerir. ✓ Bulut tabanlı olduğu için tasarım ekibinin tüm faaliyetlerini merkezileştirmeyi sağlayabilir ve gerçek zamanlı olarak etkili bir şekilde iletişim kurmalarını sağlar. ✓ 3B modeller, ek açıklamalarla 2B çizimlere de dönüştürülebilir. ✓ Animasyon ve ayrıştırılmış görüntüler oluşturulabilir.
Inventor	✓ Parametrik modelleme dışında serbest biçimli ve kural tabanlı tasarım yeteneğine sahiptir. ✓ Tasarım kombinasyonunu üretim süreçleri için işleme, belgelendirme ve planlama öncesi ön modellerini tanımlayarak test edebilir. ✓ Bileşenler, mevcut komutların bir listesiyle kolayca yerleştirilebilir ve monte edilebilir. ✓ Üçüncü taraf tasarım bileşenlerinin ve modellerinin doğrudan montaja eklenmesini de destekler.
Creo	✓ Parametrik modelleme yinelemesine sahip mekanik ve ürün tasarımı odaklı bir 3B CAD çözüm yazılımıdır. ✓ 3B tasarım, parametrik ve serbest stil yüzey kaplama özelliklerinin yanı sıra CAM ve üretken tasarım ile desteklenir. Bu özellikler, geometriyi dönüştürme, ölçeklendirme, germe gibi eğrilere ve yüzey manipülasyonuna izin verir. ✓ 3B parça ve montajları, verimli, zaman ve maliyet açısından ekonomik hassas geometri ile oluşturulabilir. Bu modellere daha sonra hem statik hem de dinamik analiz için erişilebilir. ✓ Sac metal tasarımı, boru ve tesisat tasarımları, modelleme ve analiz yetenekleri mevcuttur.
Unigraphics (NX)	✓ Parametrik modelleme yinelemesine sahip mekanik ve elektrik ürün tasarımı odaklı bir 3B CAD çözüm yazılımıdır ✓ 3B tasarım, parametrik ve serbest stil yüzey kaplama özelliklerinin yanı sıra CAM ve üretken tasarım ile desteklenir. Bu özellikler, geometriyi dönüştürme, ✓ Siemens'in entegre edebildiği Ürün yaşam döngüsü (PLM) Teamcenter yazılımı mevcuttur. ✓ FEM modelleme, analiz ve simülasyon arayüzleri mevcuttur.

Bu çalışmada bilgisayar destekli tasarım uygulaması için Siemens firmasına ait Unigraphics (NX) yazılımı kullanılmıştır. Siemens Teamcenter- Ürün Yaşam Döngüsü (PLM) yazılımı ile NX entegrasyonunu sağlayabilmektedir. Bu sayede istenilen değişiklikler ve güncellemeler tasarlanan parçaların bütün kullanım ömrü boyunca saklanabilecek ve yönetilebilecektir. NX’de tasarlanan montaj, alt montaj ve detay parçalara ait bütün verileri Teamcenter üzerinde yönetmek mümkündür. Günümüzde otomotiv ve havacılık gibi birçok büyük endüstriyel alanda da ürün yaşam döngüsü bu şekilde yönetilmektedir (Resim 3.2).

Burada tasarım arayüzü olarak NX seçilmesinin başlıca nedeni Teamcenter ile olan entegrasyonudur. Bu sayede oluşturulan referans yüzeyler, noktalar, düzlemler ve malzeme gibi parçayı ilgilendiren bütün verilerin depolanması mümkündür. Montaj için oluşturulan ürün ağacı aynı şekilde Teamcenter da otomatik olarak oluşur ve modeli açmadan da bazı değişiklikleri ve güncellemeleri yapabilmeye olanak sağlar. Bu sayede iş gücü, zaman ve maliyet açısından kazanç sağlamak mümkündür.

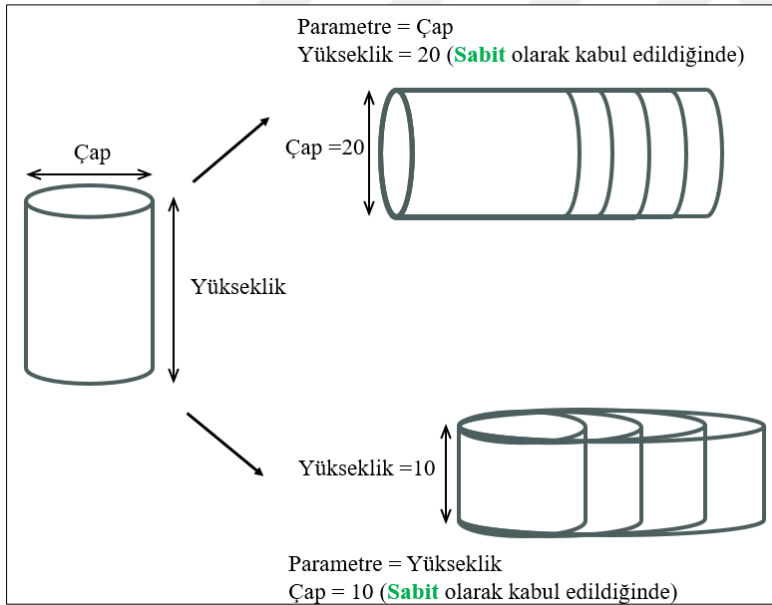
3.3. Parametrik Tasarım

Parametrik tasarım mühendislik tasarım ve uygulamaları için çok önemlidir. Bu yaklaşım proje geliştirme süreçlerinde büyük avantaj ve kolaylıklar sağlar. Modern 3B BDT sistemleri ürün geliştirme sürecini hızlandırıp mevcut modelleri yeniden kullanma ve bunlarda yapılacak değişiklikler ile yeni, özgün ve işlevsel tasarım varyantları elde etme sağlar. Genellikle önceki tasarım ve işlemler yeni ürün geliştirme süreçlerinde kullanılır [41,42]. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak genellikle tasarım bilgi ve verileri artık dijital ortamda BDT modelleri olarak saklanmaktadır. Böylece bu tasarım modelleri yeni şart ve ihtiyaçlara göre alınabilir, değiştirilebilir ve yeniden uyarlanabilir. Bu amaçla parametrik tasarım ve sistemler çok etkili bir şekilde kullanılabilir.

BDT alanında yeniden kullanılabilirlik hangi tür BDT verisinin nasıl ve hangi ölçüde yeni bir tasarım çözümüne uyarlanabileceğini belirtir [43]. Günümüzde birçok endüstri ürünlerine ait veri ve bilgiler dijital olarak temsil edilir ve saklanır. Bu nedenle yeniden kullanılacak 3B model ve tasarım temsillerine ait birçok yöntem ve teknik geliştirilmiştir.

Endüstriyel açıdan bakıldığında unsur tabanlı parametrik BDT geometrik model ve montaj oluşturma amaçlı çok kullanılan bir teknolojidir. Parametrik bir modelde, geometri esas olarak parametre adı verilen ve geometrik olmayan boyutsal veya cebirsel sınırlandırılmış unsurlar ile kontrol edilir [44]. Eğer düzgün kullanılırsa, parametrik BDT basit birkaç parametrenin düzenlenmesi ile verimli ve hızlı bir şekilde yeni model ve çözümün oluşmasına olanak sağlar.

Bir tasarımın parametrik olarak sınıflandırabilmesi için unsurların sabit ve değişken özelliklerinin iyi tanımlanması gerekir. Bir silindiri örnek alacak olursak Şekil 2.1’de gösterildiği gibi yükseklik ve çap olmak üzere iki adet unsurdan oluşmaktadır. Burada bir unsuru sabit tutarak diğer unsuru serbest bırakarak farklı parametreler tanımlanabilir. Bu tanım sayesinde bir unsur için uygun tasarım çözüm kümesi oluşturulabilir. Örneğin sindirin çapı sabit tutularak yüksekliğinin değiştirilmesi veya yüksekliğinin sabit tutularak çapının değiştirilmesi ile tasarım çözüm kümeleri oluşturulabilir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Parametrik tasarım değişken ve sabit konsepti

Tasarımı oluşturan parametrelerin sabit unsurlarını yeteri kadar tanımlanamaması ve çok fazla değişken olması durumunda sonsuz sayıda tasarım çözüm kümeleri ortaya çıkacaktır. Bu da istenilen ve sürdürülebilir optimum tasarım çözümüne ulaşmamıza engel olacaktır. Kritik olan sabit ve değişkenlerin optimizasyonunu arzu edilen tasarım çözümü doğrultusunda şekillendirebilir. Bu sebeple 3B şeklin konseptini oluşturacak parametreler

sabit tutulur ve değişiklik ihtiyacını en aza indirgeyecek parametreler değişken olarak tanımlanır. Böylece şekil korunurken minimum değişiklik ile tasarım çözümleri oluşturulur. Mevcut parametrik BDT modeli oluştugu şekilde otomatik kaydetme, buna tekrar ve saklandığı şekilde erişime izin verme sağlarlar. Geçmişe dayalı parametrik modelleme sistemleri, modelin belirli yönlerine (unsurlarına) ait 3B verileri ilişkisel bir şekilde temsil eden veri yapılarına dayanır. Yani, modele ait tüm unsurlar hiyerarşik olarak düzenlenir ve burada her nokta özelliği ve her bağlantı iki özellik arasındaki etkileşimi temsil eden bir graf (diyagram) yapısı oluşturur. Bu yapı genelde tasarım ağacı, unsur ağacı veya oluşum (tarihçe) ağacı olarak anılır. Bu ağacın uyarlanabilir yapısı, BDT kullanıcı tasarım esneklik ve yeniden kullanım yeteneğini artırma yanında karmaşık parçaları daha kolay ve hızlı modelleme sağlar. Unsurlar arasındaki bağlantılar doğru bir şekilde tanımlanırsa, bir üst kademede yapılan değişiklikler otomatik olarak alt kademelere yansır [45]. Buna karşın unsurlar arasındaki üst/alt bağlantıları parametrik modellemede birçok tekrar oluşturma problemine neden olur. Parametrik bir BDT modelin boyut ve karmaşıklığı uygulamaya bağlı olarak hızlı ve önemli ölçüde büyüyebilir. Bağlantı sayısına bağlı tasarım ağacının büyümesi (bağlantıların artması), modelin değiştirilmesi ve yeniden kullanımını olumsuz etkileyebilir. Unsurlar arası bağlantılar doğru tanımlanmaz ise model kararsız hale gelebilir ve yeni çözümler için modelin bir kısmını yeniden oluşturmak gerekebilir [46].

Modern BDT paketlerinde bulunan güçlü parametrik araçlara rağmen kolayca güncellenebilen ve yeniden kullanılabilen verimli modeller oluşturma sorumluluğu hala tasarımcıya aittir [44-46]. BDT sisteminin "temel grafik ilke ve 3B modelleme stratejilerini tam anlamayan mühendis ve tasarımcıların sınırlı düzeyde kullanım yapabileceklerini belirtir. Modelleme stratejileriyle ilgili problemler iki farklı tasarımcı tarafından modellenen aynı parçanın muhtemelen farklı bir model ağacı geçmişine ve tasarım değişikliklerine uyum sağlama yeteneğine sahip olacağı pratikte kolayca gözlemlenebilir [47,48].

Belirli bir tasarım durumu için en verimli ve uygun pratik modellemeyi belirlemek, tasarım ağacının iyi bir şekilde yönetilmesi ve yapılandırılması ile sağlanabilir. Çünkü sürdürülebilir ve iyi tasarım modeli oluşturmaktan ziyade tasarımcı sadece bir BDT yazılımı kullanmayı öğrendiği takdirde daha fazla zaman ve çaba sarf edebilir. Bu nedenle iyi bir modelleme metodolojisi seçmek, verimli ve gerekli bir fonksiyonel model sağlamak adına harcanan zaman ve çabayı en aza indirebilir [49,50]. Strateji seçimi ve model kararları tasarımcının bilişsel yetenekleri, deneyimi, becerileri ve tasarımla ilgili algısına dayanır [51,52].

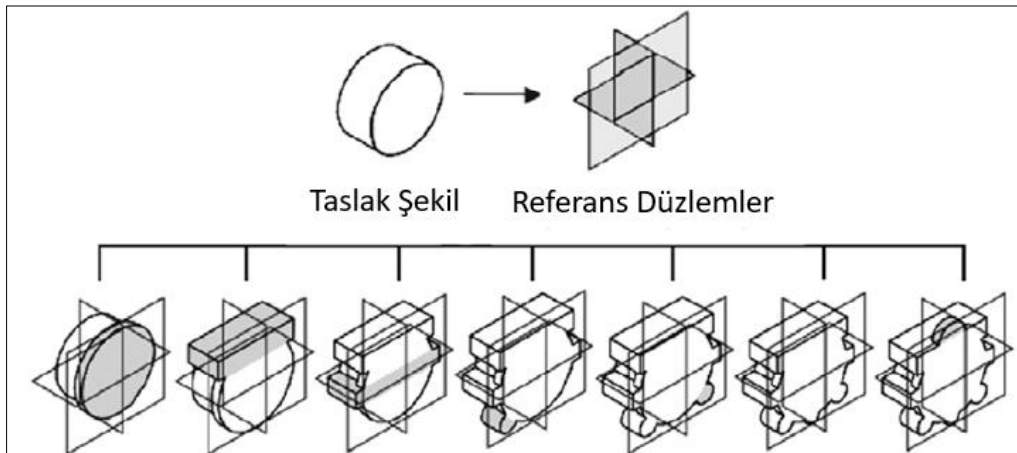
Endüstriyel ortamlarda genelde şirketler önceki tasarımlara ait alt/üst ürün ağacı model ve deneyimleri de dikkate alarak BDT modelleri tanımlar. Bu yöntem ve kılavuzlar standart hale getirilir ve daha verimli/sürdürülebilir modeller oluşturulması sağlanır. Bu tür bilgilerin önemine binaen genellikle özel koruma bölgelerinde saklanır veya patentleri alınır [53].

3.3.1. Genel modelleme metodolojileri

Yatay modelleme

Yatay modelleme, Delphi Technologies, Inc. (Global bir otomotiv parça üreticisi) tarafından geliştirilen bir BDT modelleme metodolojisi [53]. Bu metodoloji modelleme unsurları arası bağlantılarda alt/üst ilişkilerini ortadan kaldırarak verileri yeniden oluşturma veya düzenleme ihtiyacını en aza indirmeyi amaçlar. Burada diğer unsurları etkilemeden geometrik unsurlar izole edilmeye ve değiştirmeye çalışılır. Genelde araştırmacılar bu yöntemin zaman tasarrufu sağladığı görüşüne katılmaktadır.

Yatay modelleme metodolojisinde tüm unsurlar diğer unsurlar yerine bunların dışında referans düzlemler üzerine inşa edilmiştir. Bu durum tüm unsurların bağımsız olması ve birbirleri ile doğrudan iletişim kurmamasını sağlar (Şekil 3.5). Bu nedenle model unsurlarının tek üst ilişkisi olarak referans düzlemler kullanılır. Bu şema bir unsurun istenmeden veya dolaylı olarak değiştirilmesi veya silinmesi kaynaklı olası riskleri en aza indirir. Sonuç olarak bütün unsurlar tasarım ağacı içinde aynı seviyede tanımlanır ve BDT modeli (yatay denmesine rağmen) basit, düz ve doğrusal bir yapıda olur.



Şekil 3.5. Yatay parametrik modelleme stratejisi

Her ne kadar bir BDT modelini hazırlarken referans düzlemleri oluşturma ek bir zaman ve iş gerektirse de yatay metodoloji ile oluşturulan model genelde kısa ve kolay izlenilebilen unsurlara ait bağlantı zincirleri içerir. Bu nedenle 3B tasarım ağacı kolay anlaşılabilir ve basittir. Bununla birlikte yatay modelleme 3B tasarımda alt/üst ilişkisini tamamen ortadan kaldıran katı bir yaklaşım olarak eleştirilir. Tasarım sürecinde kısmen de olsa değişiklikler otomatik olmadığı için tasarım ağacına referans ile tasarım amacı ifade edilemez. Genel olarak unsurlar arası bağımlılıklar doğru kullanılırsa bunların çok değerli olduğuna inanılır. Aslında bu bağımlılıklar parametrik modelleme yaklaşımının temelini oluşturur. Veriler birçok durumda kesinlikle gerekli ve değerlidir. Fakat bağımlılıklar gerçekten uyarlanabilir ve yeniden kullanılabilir modeller oluşturmaya mümkün kılar. Mevcut geometriye ait bağımlılıkları paylaşma ve ilişkilendirme unsur tabanlı 3B modelleme sistemlerinin temel taşı oluşturur [54].

Açık referansla modelleme

Parametrik tasarım alanında kaydedilen önemli ilerlemelere rağmen BDT ile modelleme hala gelişim sürecindedir. Araştırmacılar genelde etkili bir parametrik model oluşturmak için fonksiyonel modellenen parça parametrelerini tanımlama ve böylece uygun parametrik şema ve yapılar oluşturmaya önermektedirler [55].

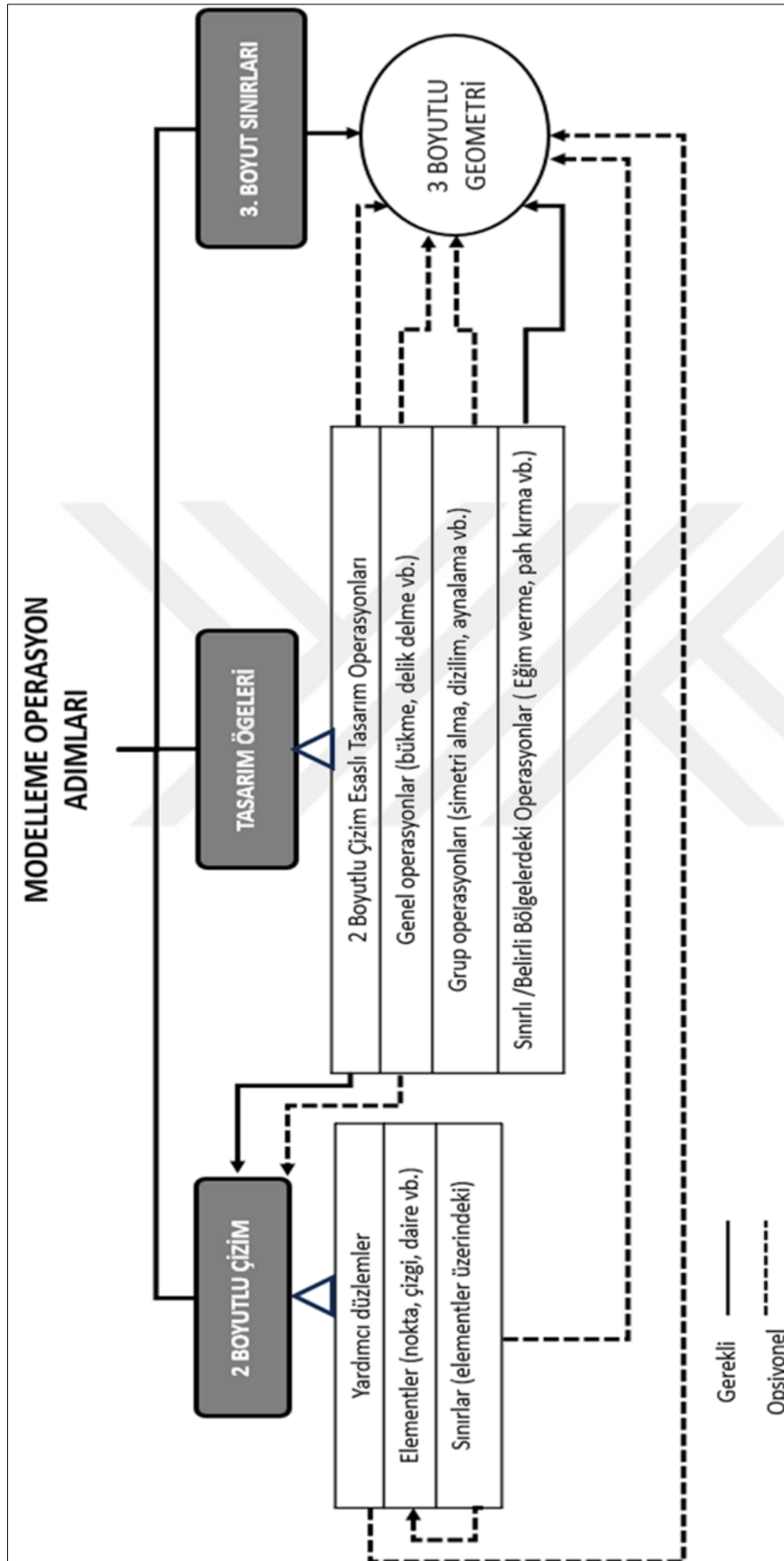
3B modelleme işlemlerini sınıflandırma parametrik BDT sistemleri ve olası tüm sınırlayıcılar ile yapılabilir. Bu çalışmalar birbiri ile ilişkili Bodein vd., Bettig ve Shah tarafından yapılan çalışmalara dayanır [41-45]. Daha özel kapsamda parametrik sınırlayıcılar iki gruba bölünebilir. Bunlardan birincisi unsurlar tarafından tanımlanabilen olanları içerir ve model geometrisinin bir parçası değildir. İkinci grup ise her zaman mevcut unsur veya yönler atıfta bulunacak sınırlayıcıları içerir ve geometrinin bir parçasıdır. Örneğin, ekstrüzyon ve yüzey doldurma gibi işlemler 2B eskizlere dayanır ve bu eskizler referans veriler üzerinde oluşturulurken (I. Grup), pahlar ve köşe doldurma gibi 3B model üzerinde yapılan işlemler her zaman mevcut unsurlarla ilişkili olmalıdır (II. Grup).

Bu sınıflandırmaya dayalı özellikle karmaşık parça oluşturmak için mevcut geometriye bağlı referansları azaltarak fonksiyonel yönetim stratejisi ile model geliştirilmiştir. Bu bağlamda birçok geometrik unsur yenilerini oluşturmada kullanılabilir (Şekil 3.5). Aynı zamanda

sınırları belirtmede kullanılan mevcut geometri ise; düzlem, nokta ve çizgi gibi dış referans verileri ile yer değiştirirler (Şekil 3.6) [45].

Ayrıca açık referans modelleme stratejisine göre bağımlı unsurlar (alt ilişkiler) mümkün olduğunca üst ilişkilere yakın modellenir ve gruplandırılır. Böylece görsel ve temsil ettikleri işlevsel öğeye dayalı olarak tasarım ağacı daha sezgisel ve takip edilebilir hale gelir. Johnson ve Diwakaran [56], mantıksal adımlar izlenerek oluşturulan modellerin diğer gelişigüzel olanlardan daha iyi, kolay ve anlaşılır olacağını belirtmektedir.





Şekil 3.6. Modelleme operasyonlarının sınıflandırılması ve bağlı sınır koşulları

Sonradan değiştirilecek veya kaldırılacak unsurlar için özel bir ilgi ve plan gereklidir. Çünkü alt/üst ilişkilere hala izin verildiğinden model uyumsuzlukları olabilir. Bu durum özellikle büyük, karmaşık ve unsur sayısı fazla olan modeller için çok önemlidir. Modellemenin başlarında yapılan bir unsur değiştirme veya silmeye bağlı olarak yeni model oluşturmada sorunlar olabilir. Çünkü değişiklik dolaylı olarak alt özellikleri etkiler. Metodoloji, istenmeyen tekrar oluşturma etkilerini en aza indirmek için, değiştirilmesi veya çıkarılması öngörülen bütün unsurların model ağacında en aşağı seviyelere yerleştirmeyi önerir.

Esnek modelleme

Başlangıçta Solid Edge eğitiminin bir parçası olarak tasarlanan esnek modelleme metodolojisi Gebhard [48] tarafından tarafsız bir sistem oluşturmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu metodolojide ürün ağacının sırası ve yapısı düzenlenerek uyumsuz model sorunlarına çözüm getirilmektedir. Yani, BDT modellerinin esneklik ve sağlamlığı en üst seviyeye çıkarılırken uyumsuzları en aza indiren uygulama yöntemleri tanımlanır.

Bu metodolojide kolay ve hızlı bir şekilde tasarım amacını anlamak için basit ve sezgisel yapılar kullanılır. Ayrıca, kurulum hataları, sorunlu alanlar ve kaynakları kolayca tespit edilebilir ve düzeltiler. Tasarımdaki unsurların tasarım ağacındaki önemi, işlevi ve etki alanı (diğer unsurları etkileme olasılığı) türlerine göre altı grup halinde düzenlenmiştir. Bu gruplar, Çizelge 3.2'de gösterilmektedir [57]. İlk grup tüm modelleme süreci boyunca geometrik unsurlar için mevcut olması gereken referans elemanları ve verileri içerir. İkinci grup, alt yapı katı modelleri oluşturmak için gerekli referans eğri, doğru ve yüzeyleri içerir. Grup 3 (çekirdek grup), başlıca modelin nihai şekil ve oryantasyonunu belirleyen komutları, unsurları (süpürme gibi) içerir. Parçanın temel şekil ve boyutunda ciddi değişiklikler bu gruptaki unsurların değiştirilmesini gerektirecektir.

Parçadan malzeme çıkaran geometrik unsurlar (örneğin; delik, yuva ve kesik gibi) detay grubuna dahildir (Grup 4). Detay unsurları, 1, 2 ve 3. gruptaki unsurların alt elemanları olarak oluşturulur ve üst unsur veya referans olarak gerekmedikçe kesinlikle kullanılmazlar. 5 ve 6. gruplarda sonradan daha fazla alt unsur gerektirmeyen unsurlar dahil edilir. Grup 5, isteğe bağlı bir gruptur ve eğer kullanılıyorsa desenler, taslaklar ve simetri gibi nihai geometrik unsurları içerir. Pah verme, köşe doldurma gibi kozmetik ve bitirme unsurları her zaman en son (grup 6) oluşturulur.

Ayrıca bu metodolojilere göre günümüzde birçok rehber belge düzenli, sürdürülebilir ve değişikliklere uygun BDT kapsamında test edilmiş bilgi ve uygulamalar içerir. Esnek modelleme metodolojisi istenilen seviyede verimli ve sürdürülebilir bir BDT modeli oluşturmak için kontrol listesi kullanımını önerir. Bu kontrol listeleri, BDT modelleri oluşturmada rehberlik etmesinin yanında kalitenin de korunmasını sağlamaktadır.

Çizelge 3.2. Esnek modelleme metodolojisi grupları

Grup	Tanım	Tipik özellikler	Notlar	Bağlantılar
1- Referans	Bütün referansların ilk önce erişebilir veya görünür olması	Referans parçalar, düzenler, düzlemler, çizimler, koordinat sistemleri ve resimler	Katı Model olmayacak	Eğer arka planda görülebiliyorsa bağlantı için kabul edilebilir
2-Yapı	Karmaşık katı yapıyı oluşturmak için gerekli yapılar	Yüzeyler, 3B eğriler, uzatma, yansıtma, kırpma	Katı Model olmayacak	
3-Çekirdek	Modelin içerik, oryantasyonun ve nihai şeklini oluşturan ana yapılar	Kalınlık verme, ince cidar, döndürerek doldurma, hacim verme	Malzeme ekleme	
4-Detay	Çekirdek yapılara bağlı detay özellikler	Diş açma, delik açma, kalınlık düşürme	Malzeme çıkarma	Diğer unsurlarla link kurulabilir fakat detayları ile kurulamaz
5-Modifikasyon	Yüzey ve unsur üzerindeki değişiklikler	Köşe kırı, kopyalama		Eğer arka planda görülebiliyorsa bağlantı için kabul edilebilir
6-Karantina	Nihai hacimsel unsurlardaki değişiklikler	Pah verme, keskin köşe giderme	En büyük hacimli değişiklik önce yapılmalı	

3.4. Ana Referans (Master) Geometri

Tasarımda "master geometri uygulaması" terimi, bir tasarım sürecinde birincil veya temel geometriyi oluşturmak için kullanılan bir kavramı ifade eder. Bu, genellikle bir ürün veya yapı tasarımında, başlangıç noktası veya ana hatları belirlemek için kullanılır.

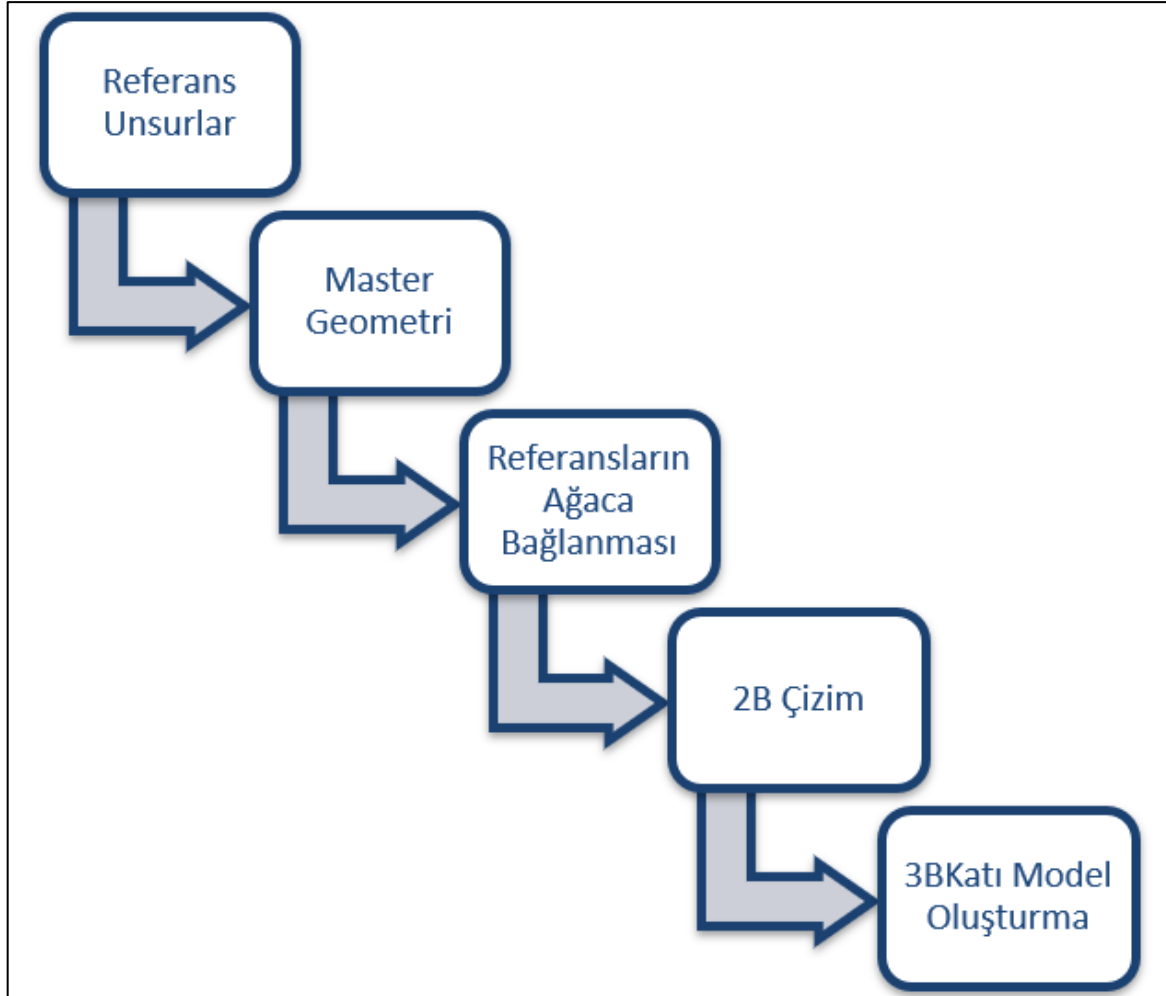
Master geometri uygulaması genellikle bir tasarımın erken aşamalarında yapılır. Bu aşamada, tasarımın genel şekli, boyutları ve temel özellikleri belirlenir. Bu temel geometri, daha sonra detaylandırılarak, inşa edilerek veya geliştirilerek nihai ürün veya yapıya dönüştürülür.

Master geometri uygulaması, tasarımın bütününe anlamak, temel gereksinimleri belirlemek ve tasarımın ilerleyen aşamalarında yönlendirme sağlamak için önemlidir. Bu aşamada, tasarımcılar genellikle prototip oluşturmak veya önemli kararlar almak için bu temel geometriyi kullanırlar.

Bu terim, genellikle endüstriyel tasarım, mühendislik tasarımı ve mimari gibi alanlarda kullanılır, ancak daha genel olarak, birçok tasarım disiplinde benzer kavramlar bulunabilir.

4. 3B VERİ KÜMESİNİN OLUŞTURULMASI

Bu bölümde sürdürülebilir, optimizasyonunda, veri üretiminde kolaylık sağlayabilecek ve literatür kısmında açıklanan parametrik model oluşturma teknikleri kullanılarak tasarım modelinin oluşturulma adımları anlatılacaktır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Montajda komşu olan ve referans olarak kullanılan parçalar

4.1. Referans Ana (Master) Geometrinin Oluşturulması

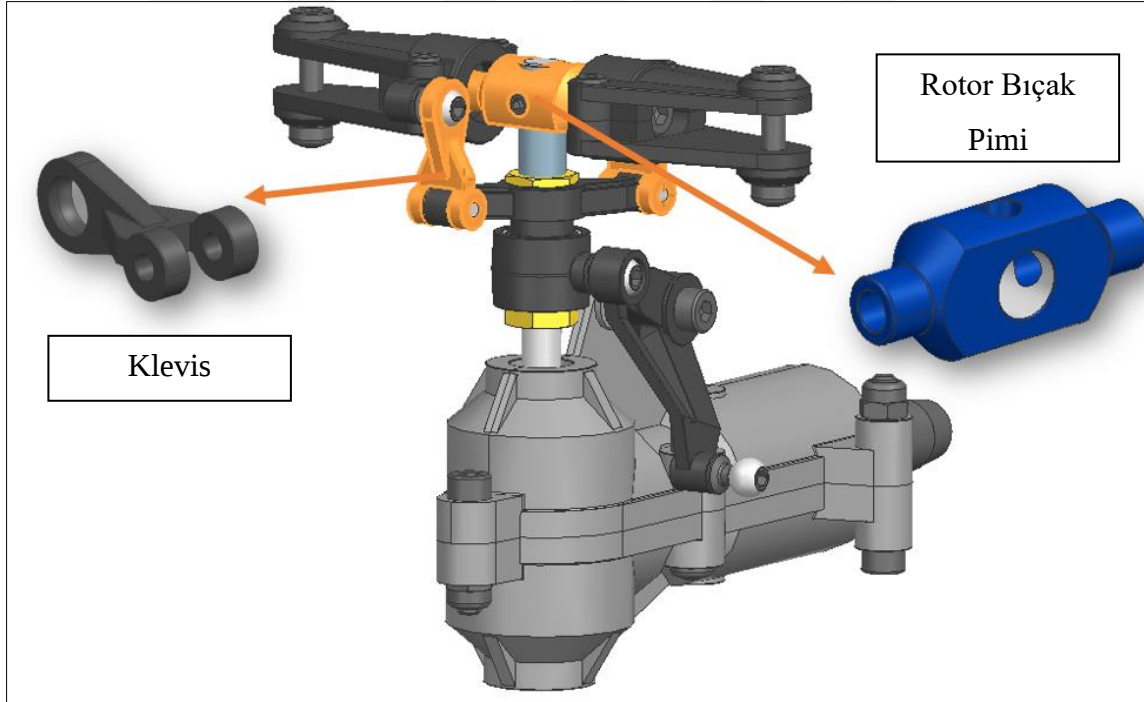
Sürdürülebilir ve optimizasyonu kolay bir model oluşturma'nın ilk aşaması, parçayı oluşturacak sınır koşullarının doğru belirlenmesi ve referansların doğru alınmasıdır. Bir diğer amaç ise parçayı yerinde tasarlayarak daha sonradan zaman gerektirecek montaj işlemlerinden kazanç sağlamaktır. 3B modeli oluşturacak sınır koşullar ve referanslar

(düzlemler, yüzeyler, çizgiler vb.) mühendislik tasarım programı (BDT) olan Siemens NX (Unigraphics) ile “Master Geometri” olarak iki ana adımda oluşturulmuştur.

- Montaj parçalarında referansların oluşturulması
- Parçayı oluşturacak referansların tek bir yerde toplanması

4.1.1. Montaj parçalarında referansların oluşturulması

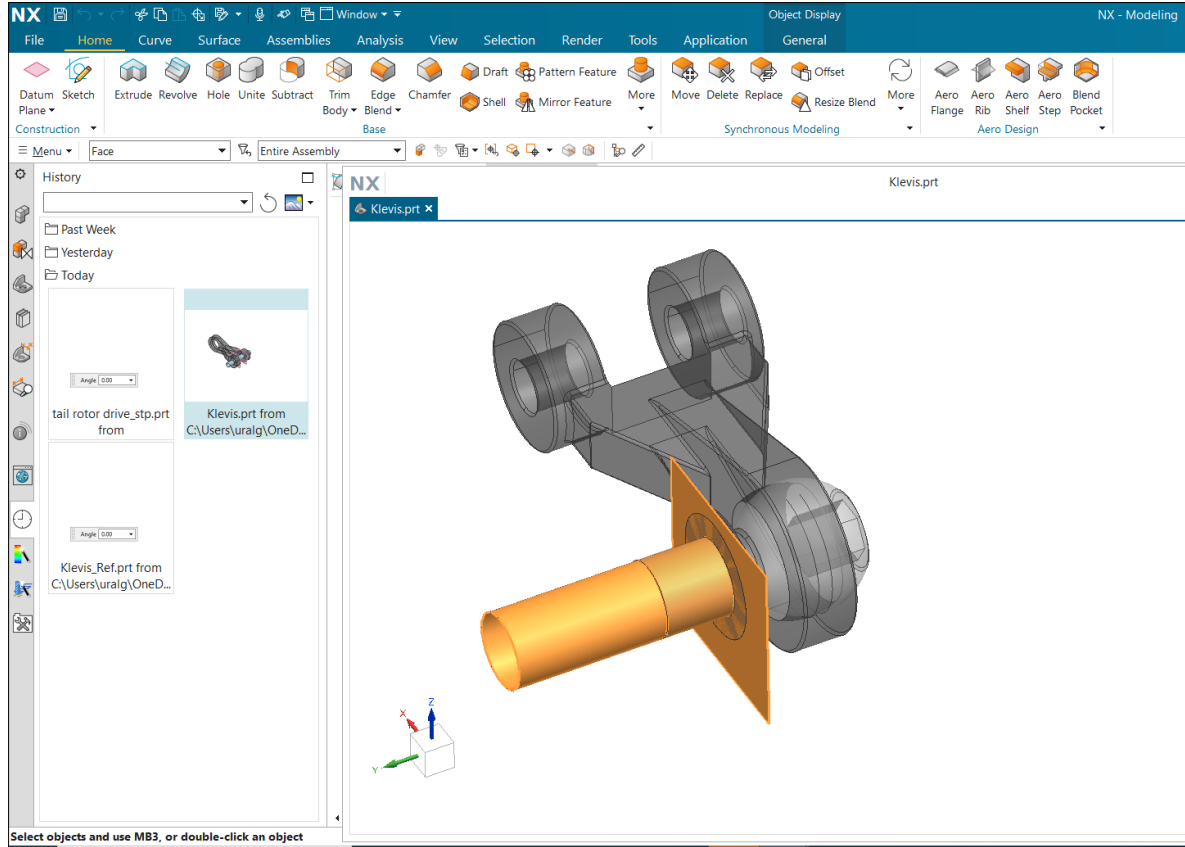
Parçanın tam olarak kullanıldığı yerde tasarlamak amacıyla, parçanın son montaj halinde temas yüzeyi oluşturduğu “Rotor Bıçak Pimi” ve “Klevis” parçalarında (Resim 4.1) referanslar oluşturulmuştur.



Resim 4.1. Montajda komşu olan ve referans olarak kullanılan parçalar

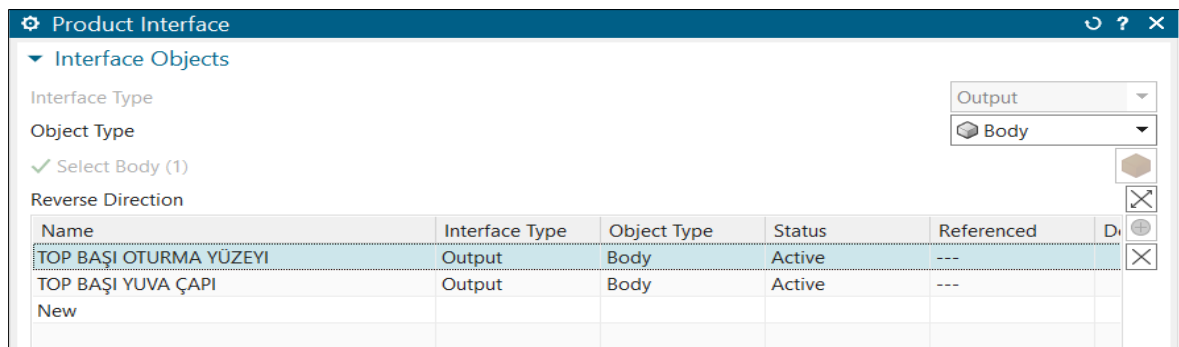
Klevis

Klevis, kuyruk rotor kontrolörünü rotor bıçak tutucusuna bağlayan parçadır. Klevis model ağacı içerisinde referanslar oluşturulmuştur. Resim 4.2’de gösterilen referans düzlemler ve yüzey rotor bıçak tutucusunun klevis ile olan sınır koşullarını ve kullanılan top kafa standart parçasının yüzey sınırını belirtmektedir.



Resim 4.2. Referans olarak oluşturulan yüzey ve düzlemler

Referanslar paylaşımına açılarak diğer parçalarda da kullanılabilir hale getirilmiştir (Resim 4.3). Böylece model uzayda tanımlanırken nihai koordinatlarında tanımlanmış olur.

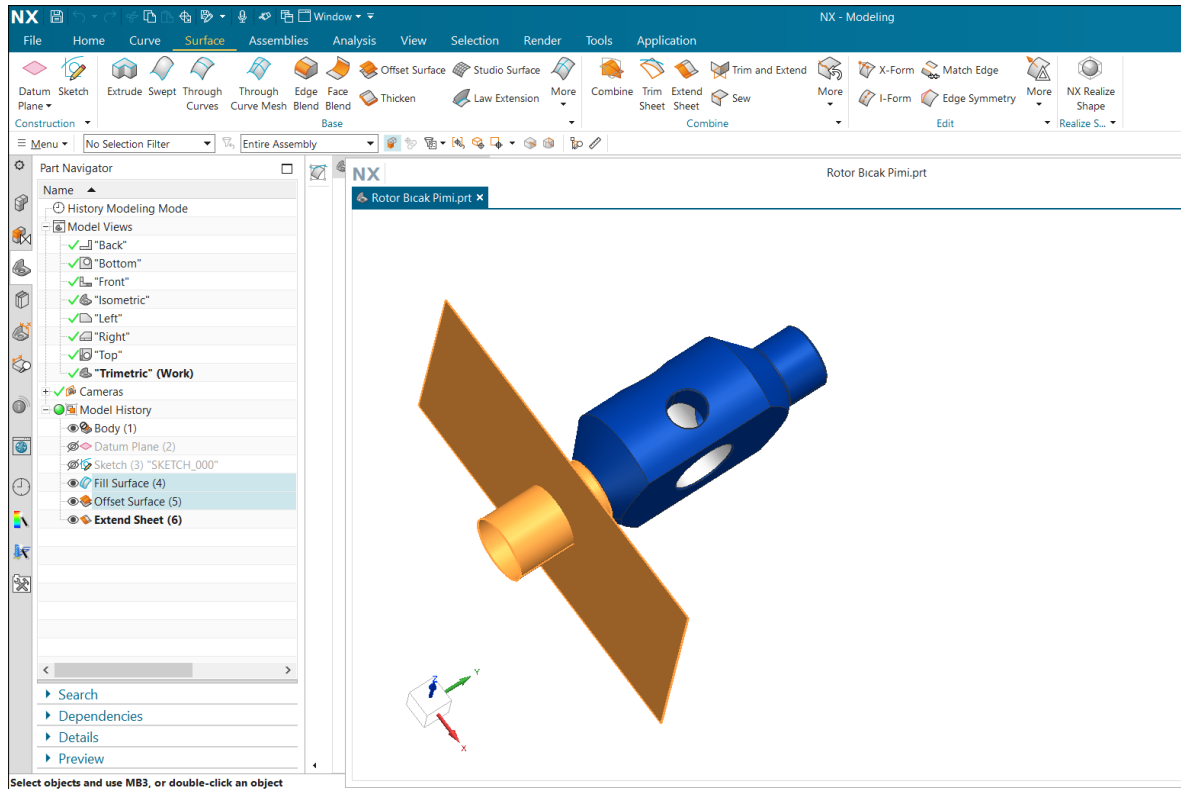


Resim 4.3. Referans olarak oluşturulan yüzey ve düzlemlerin paylaşımına açılması

Rotor bıçak pimi

Rotor bıçak pimi ana şafttan çıkan pime ve rotor bıçak tutucularına bağlıdır. Rotor bıçak tutucularına şafttan gelen dönme kuvvetine aktararak rotor bıçaklarının dönmesine olanak sağlamaktadır.

Pim model ağacı içerisinde; pimin çapını temsil eden turuncu yüzeyler ana rotor tutucusu ile olan sınırı temsil eden düzlem referans olarak oluşturulmuş (Resim 4.4) ve klevis gibi paylaşımına açılarak diğer parçalar tarafından kullanılabilir hale getirilmiştir.

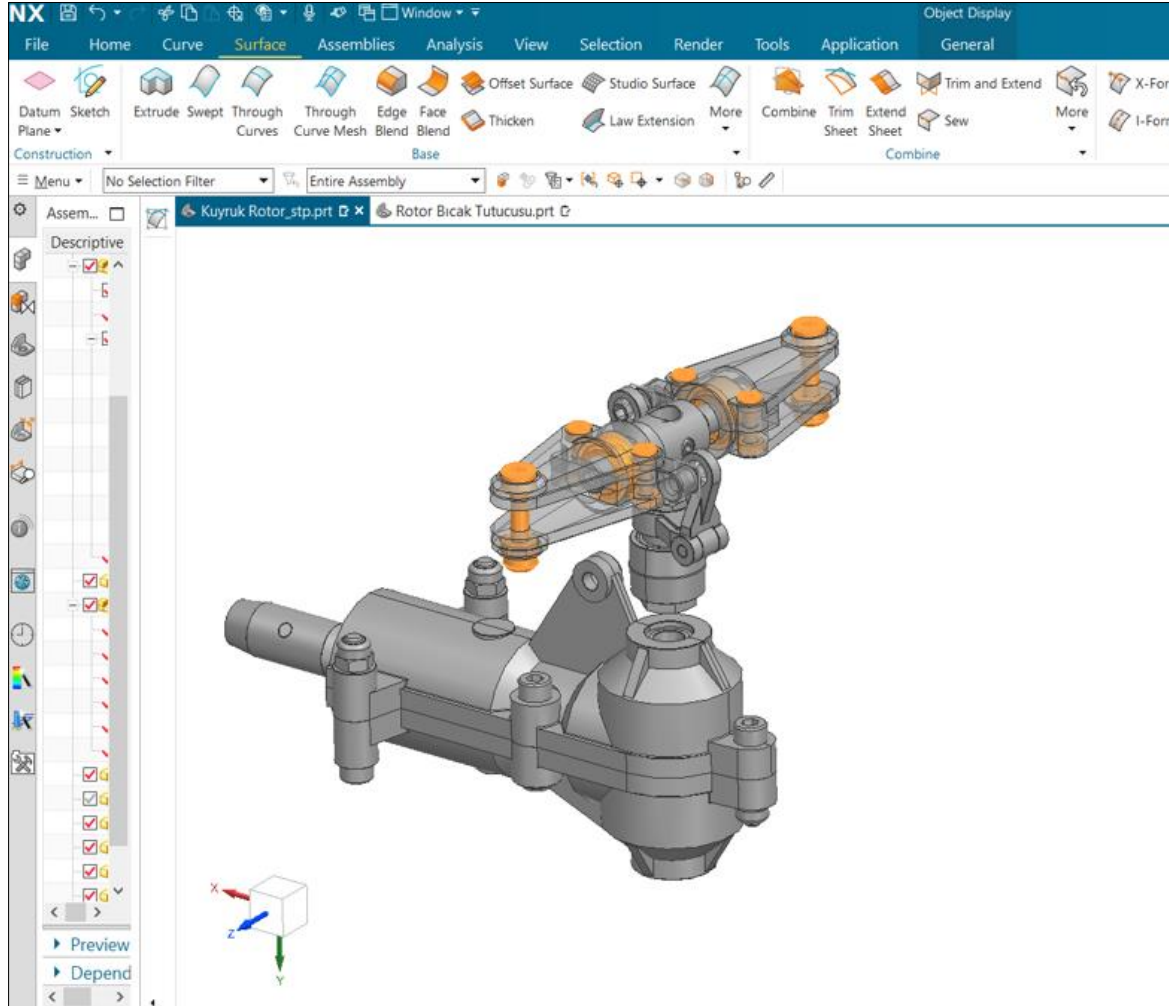


Resim 4.4. Rotor bıçak pimi içerisinde referans olarak oluşturulan yüzey ve düzlem

Standart parçalar (rulman ve bağlayıcılar)

Rotordan gelen dönme kuvvetinden kaynak bıçak tutucularında oluşacak eksenel dönme hareketini engellemek amacıyla 2 tutucu parça arasına yerleştirilmektedir. Rulmanın sağladığı eksenel dönme serbestliği sayesinde bıçağın kendi merkez ekseninde dönmesi de engellenmiş olur.

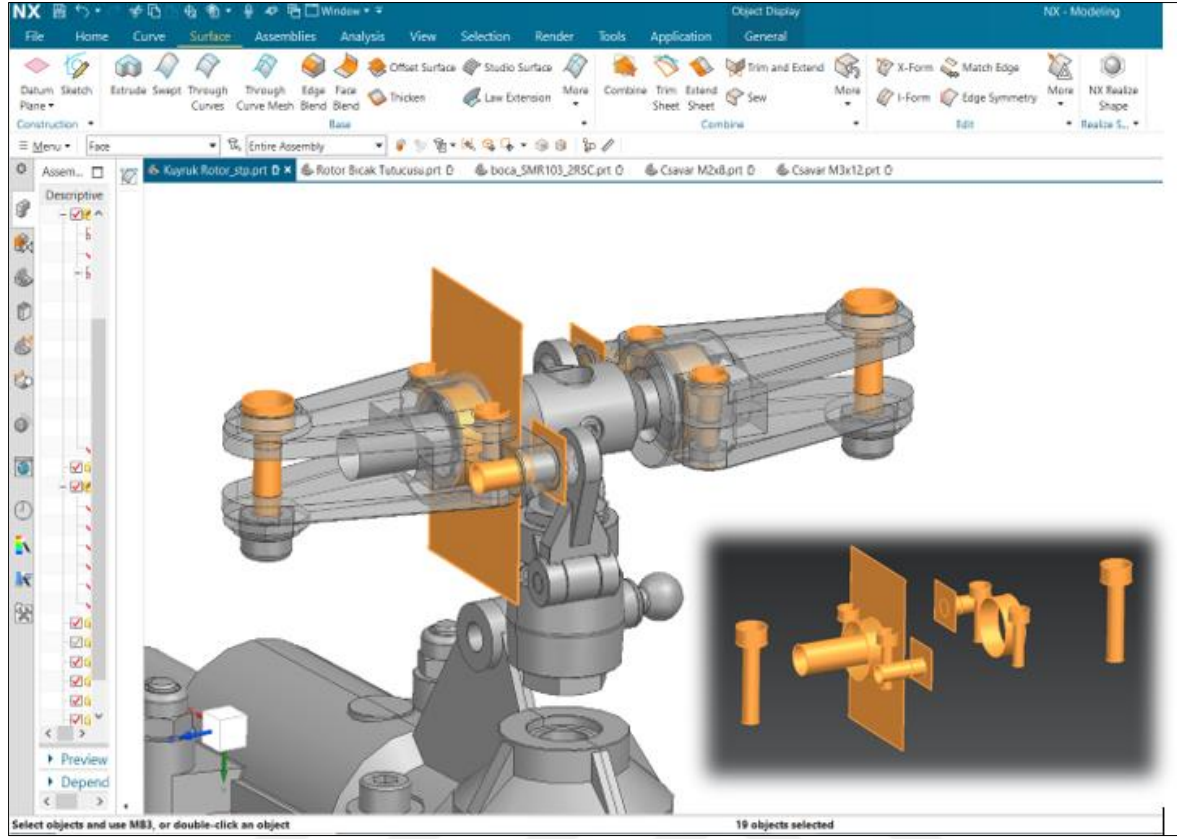
Rulman yatağını ve bıçakları tutacak parçalar toplamda 2 parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar Resim 4.5’de belirtilen sökülebilir bağlayıcılar ile bağlanarak parçanın ve bıçakların sürdürülebilirliği ve bakımı açısından kazanç sağlamaktadır.



Resim 4.5. Kullanılan standart (rulman ve bağlayıcı) parçaların arayüzeyleri

4.1.2. Parçayı oluşturacak referansların tek bir yerde toplanması

İkinci aşamada ise ayrı ayrı parçalarda oluşturulan referanslar bir “Master Geometri” parçası oluşturularak içerisinde toplanmıştır. Buradaki amaç kullanılacak referansların (Resim 4.6) tek bir ürün ağacı içerisinde kolayca yönetimini sağlamaktır. Oluşturulan Master Geometri bir köprü görevi görerek tasarlanan parçanın, montajı oluşturan diğer parçalar ile iletişimde olmasını sağlamaktır. Böylece diğer bir parçada yapılan değişiklik otomatik olarak diğer parçalara da yansıtılır.

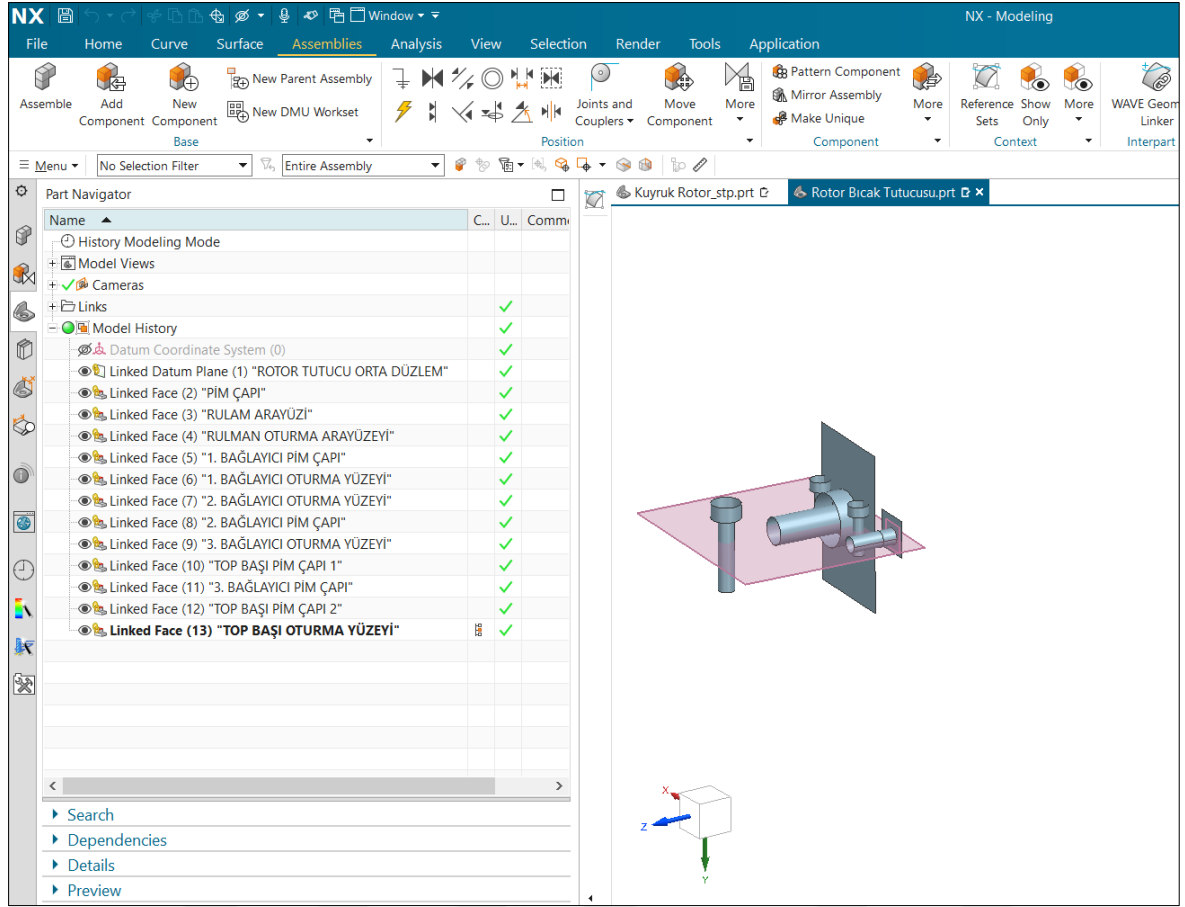


Resim 4.6. Master geometride referansların (turuncu) montaj parçası üzerindeki yerleri

4.2. Referansların Parça Model Ağacına Bağlanması

Son aşamada artık bütün referansların toplandığı master geometriden ilgili olan referanslar parça model ağacına bağlanmıştır. Alınan bu referanslar parçanın modelleme sırasındaki sınır koşullarını oluşturacaktır. Resim 4.7’de belirtildiği üzere;

- Bağlayıcı arayüzeyleri,
- Rulman arayüzeyi,
- Bıçak tutucu merkez düzlem (mid plane)
- Rotor bıçak pimi arayüzeyleri,
- Klevis – top başı arayüzeyleri yüzey veya merkezleme düzlemi olarak paylaşılmıştır.



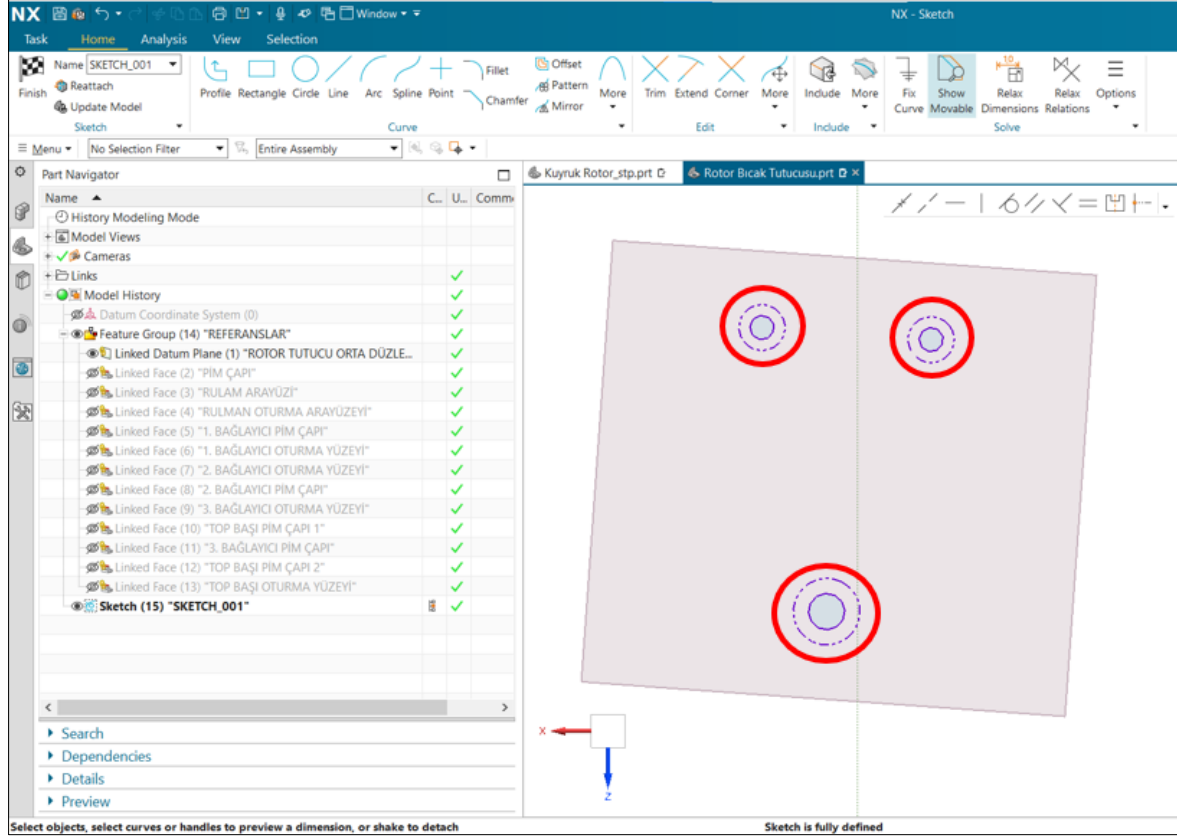
Resim 4.7. Referans bağlantı yüzeylerinin model ağacına bağlanması

4.3. Parçanın 2B Çizilmesi (Sketch)

Çizim arayüzünü açmak için referans olarak ağaca bağlanan "ROTOR BIÇAK TUTUCU ORTA DÜZLEM" kullanılmıştır. Buradaki amaç; büyük ölçüde simetrik olan rotor bıçak tutucusunun ikinci ana parçasını modellerken kolaylık sağlaması ve parametrik bir şekilde tasarlayarak iki parçanın arasında bağlantı kurmaktır.

Açılan çizim (sketch) arayüzünde parçanın dış kenar sınırlarını oluşturmak amacıyla "1, 2 ve 3. BAĞLAYICI PİM ÇAPI VE OTURMA YÜZEYLERİ" çizim içerisine iz düşümleri (project) alınmıştır. Resim 4.8'de görüldüğü üzere izdüşümleri alınan yüzeylerden oturma yüzeyleri asıl çizgilerden referans çizgilere dönüştürülmüştür. Bu sayede katı model komutlarında çizgiler komut dışı kaldığından katı modelin hata vermesini engelleyecektir.

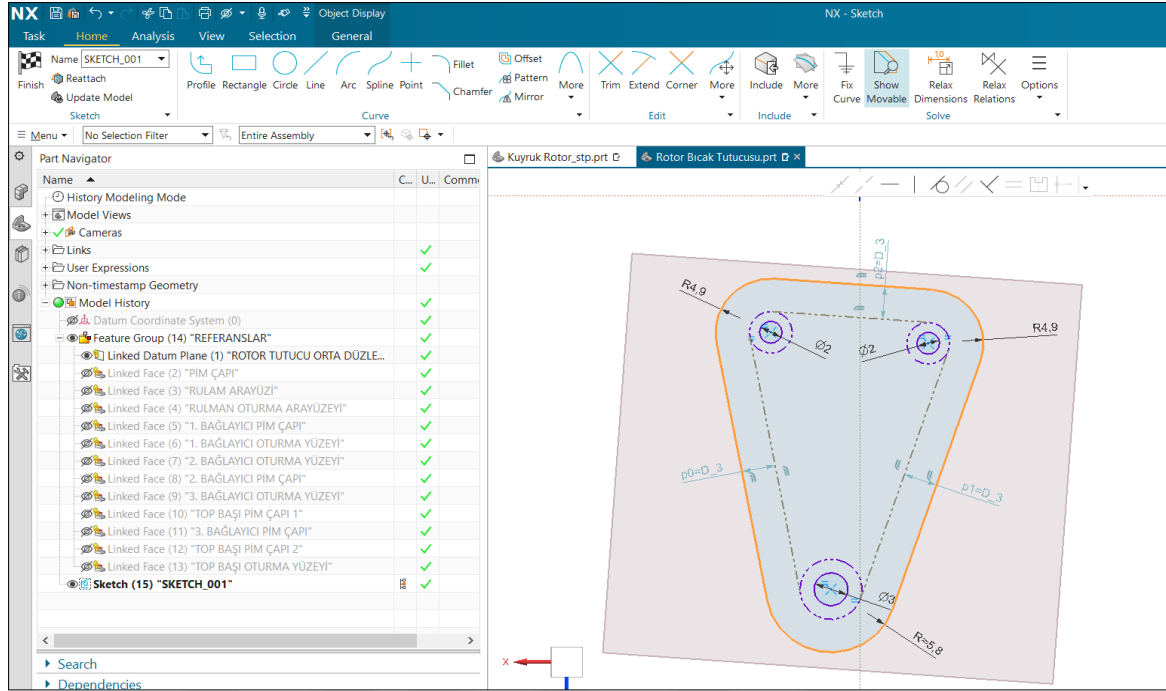
Pim çap çizgisi ise komutla beraber çalışacağından delik otomatik olarak katı modelde oluşacaktır.



Resim 4.8. Bağlayıcı referans yüzeylerin çizim içerisine iz düşümleri

Bağlayıcı delikleri ve bunların oturma yüzeyleri kullanılarak oluşturulan referans çizgilerine teğet olacak şekilde yeni referans çizgiler çekilmiştir. Bu 3 referans çizginin oluşturduğu alan parçanın hacmini oluşturabilmek için gerekli minimum boyutlarını belirtmektedir (Resim 4.9). Fakat bu boyutlar sadece geometrik sınırları belirtmektedir.

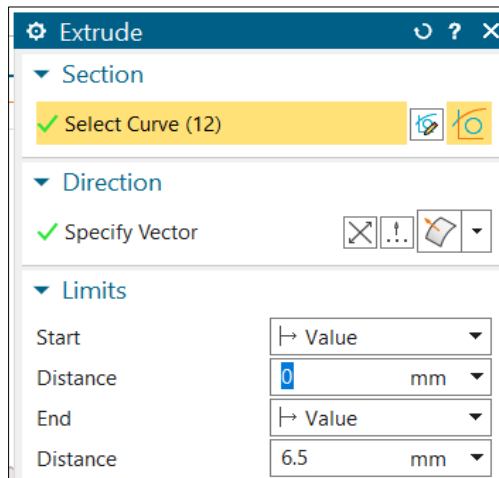
Genel olarak da bilindiği gibi parça üzerinde açılan bu gibi delikler malzemenin sürekliliğini bozmaktadır. Bu sebeple delikler etrafında yüksek gerilme bölgeleri oluşur. Bu gerilmeler serbest kenarlara çok yakın olduğunda parçanın kırılmasına yol açabilir. Bu kapsamda değerlendirilerek bağlayıcılar için oluşturulan minimum boyut en büyük bağlayıcı çapı kadar daha ötelenmiş ve Resim 4.9'da turuncu olarak belirtilmiştir. Burada daha sağlam ve dayanıklı bir parça tasarlamak amaçlanmaktadır.



Resim 4.9. En ve boy boyutlandırma

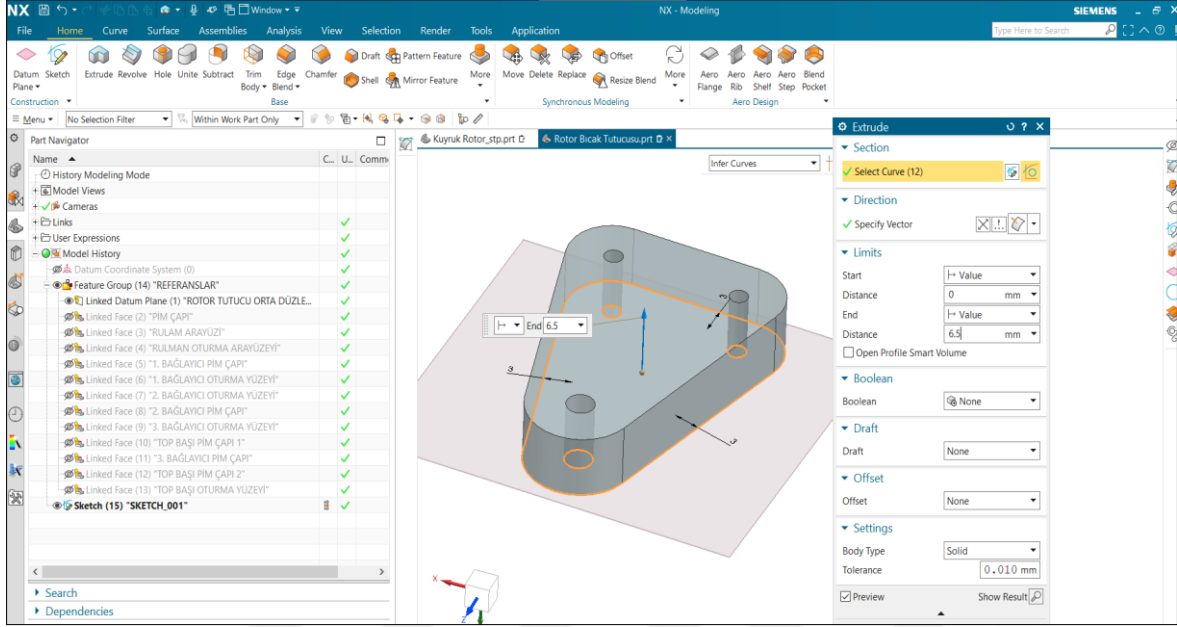
Bu parçanın tasarlanma felsefesinde bir kütükten malzeme çıkararak yani gerçek hayatta da olduğu gibi bir kütük malzemeden mekanik olarak işleyerek ya da malzeme kaldırılarak üretilme metodolojisi benimsenmiştir.

Bu metodoloji kullanılarak 2B çizim ile en ve boy bilgisi oluşturulan parçanın kalınlığı Resim 4.10'da gösterildiği şekilde verilmiştir.



Resim 4.10. Kalınlık verme (extrude)

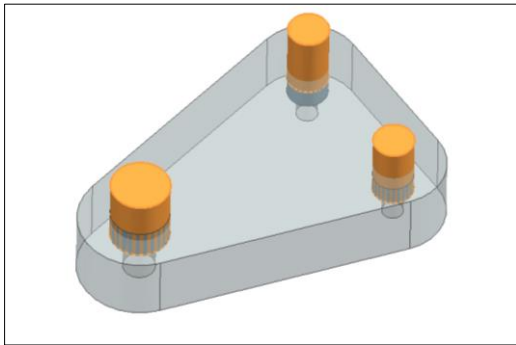
Burada sadece delikler direk olarak çizimde oluşturulmuştur (Resim 4.11). Çünkü parça içerisindeki delikler parçanın stok boyutunu etkilemeyecektir ve üretimci ile tasarımcı arasında da anlaşılması kolay bir tasarım ortaya çıkacaktır.



Resim 4.11. Stok boyutu oluşturma

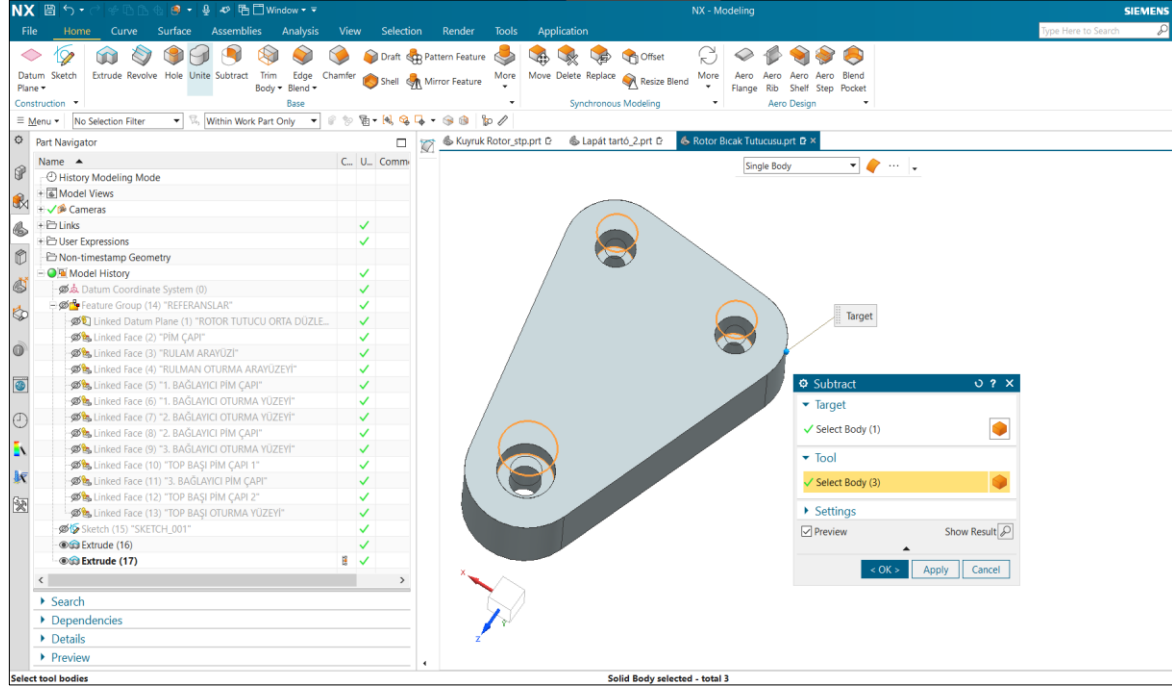
4.4. Katı (3B) Modelin Oluşturulması

3B katı model üzerinde ilk olarak bağlayıcı başlarının oturacağı yuvalar oluşturulmuştur. Bağlayıcı yuvaları ağaca bağlanan “BAĞLAYICI OTURMA YÜZEYİ” referans yüzeyleri kullanılmıştır. Referans yüzeylere kalınlık verilerek içleri dolu birer katı model haline getirilmiştir (Resim 4.12).



Resim 4.12. Bağlayıcı oturma yüzeylerinin oluşturulması

Resim 4.12’de gösterilen ve bağlayıcı başlarının oturma yüzeylerini temsil eden katı modeller boşaltma (Subtract) komutu ile ana modelden çıkarılarak yüzeyler oluşturulmuştur (Resim 4.13). Diğer bir deyişle üretim açısından bakarsak, kütükten oluşturulacak yüzeyler işlenerek çıkarılacaktır.

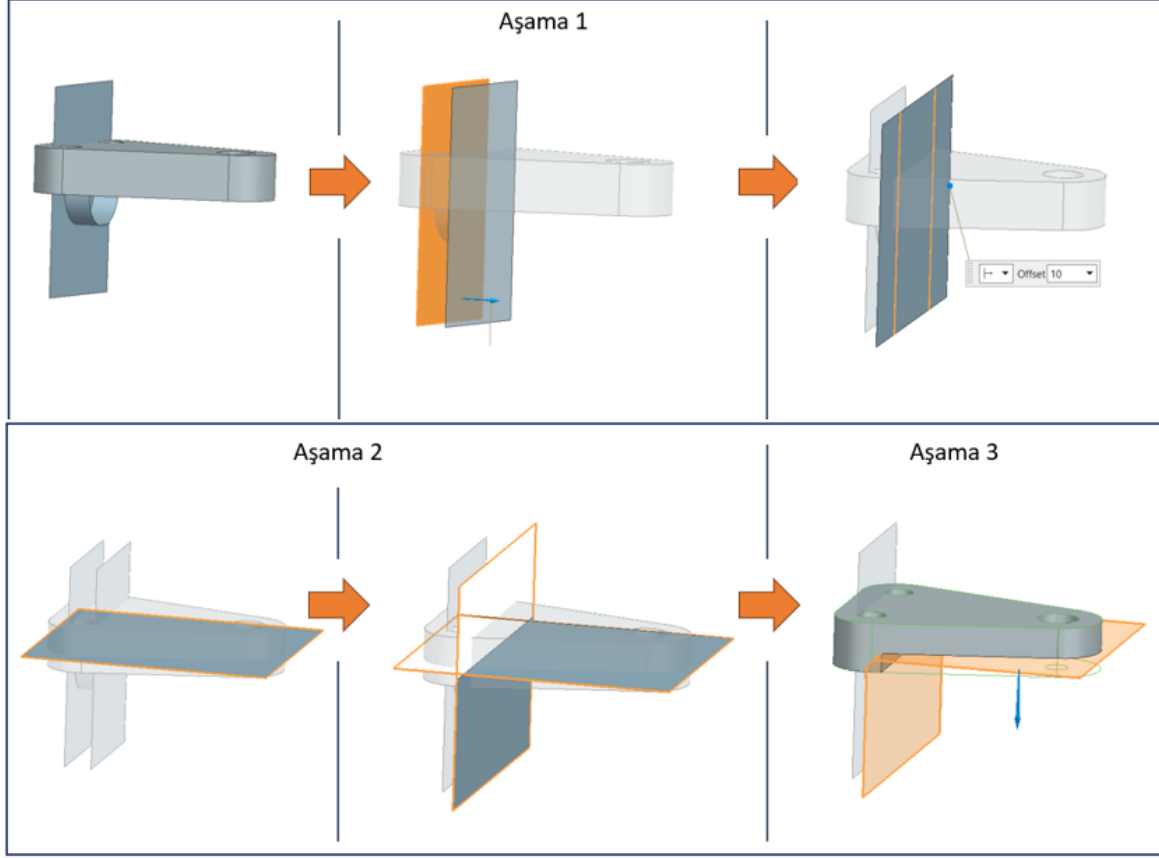


Resim 4.13. Bağlayıcı oturma yüzeyleri

Bağlayıcı arayüzleri tamamen oluşan model için kök kısmından uç kısmına yani çift deliğin olduğu taraftan tek deliğin olduğu tarafa doğru fazla olan malzemenin süpürme işlemi 3 aşamada yapılmıştır (Resim 4.14). Bu aşamalar;

- Rulman Yuvası: Rulman referans düzlemleri kullanılarak rulman yuvası ayarlanır. Rulman başlangıç düzlemi “offset” komutu ile rulman bitişine kadar ötelenir. Ötelenen yüzey kenarları “extend sheet” komutu ile parçayı içerisine alacak kadar uzatılır.
- Kullanılmayacak Alanın Tanımlanması: Kökteki iki bağlayıcının ve rulman yuvası dışında kalan alana ihtiyaç yoktur. Uzatılan yüzeye dik olacak şekilde modelden çıkarılacak yüzeyin sınırına bir düzlem tanımlanır. Bu düzlem üzerinde bir yüzey daha modellenerek “combine” komutu ile 2 yüzey birleştirildi ve süpürülecek alanın sınırları tamamlanır.

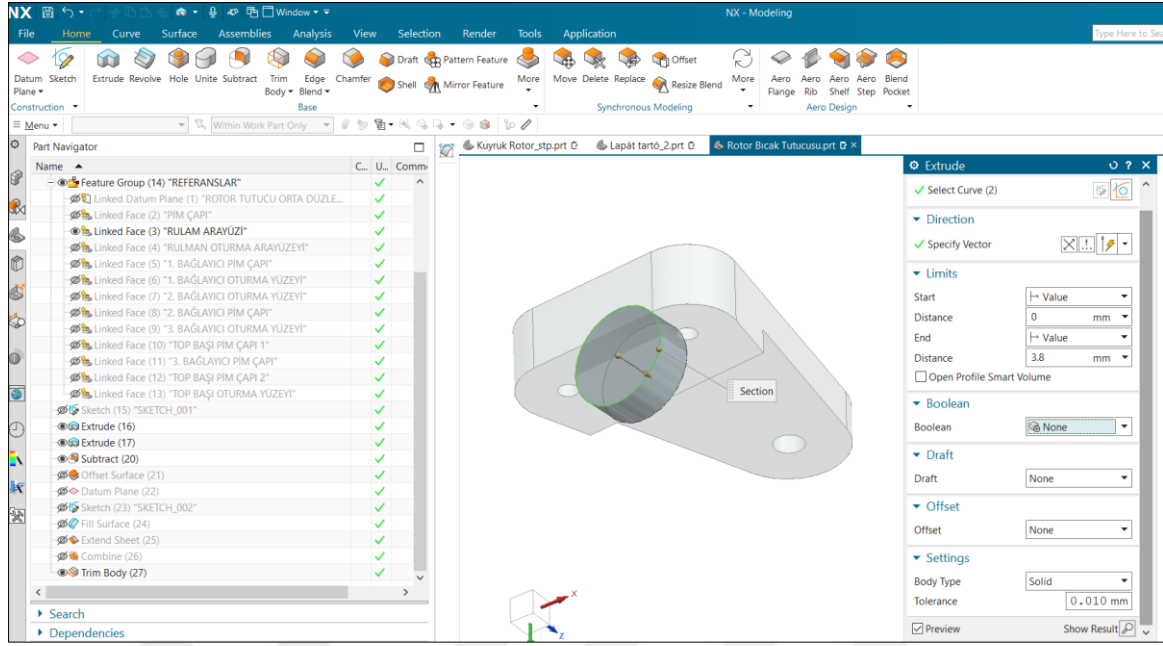
- Kullanılmayacak Alanın Çıkarılması: Sınırları oluşturan yüzey ile katı model “trim body” komutu ile kesilerek kullanılmayacak alan çıkarılır.



Resim 4.14. Kullanılmayacak alanın modelden çıkarılma aşamaları

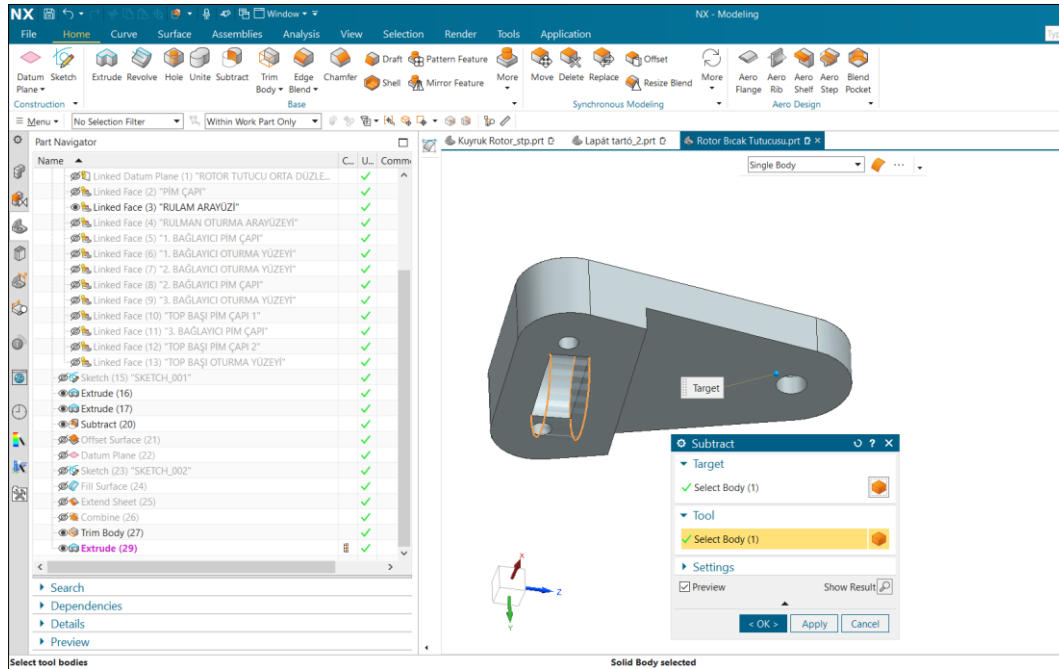
Taslak modelin ana hatları artık oluşmuştur. 3B katı modelin detaylarına geçmeden önce arayüzlerin tamamen oluşturulmuş olması gerekmektedir. Aksi takdirde sonradan gelecek değişiklikler arayüzlerde bozukluklara ve hatalara sebebiyet verecektir. Bu da parametrik modelleme olmaması ve sürdürülebilirlik açısından da başarısız olması anlamına gelir.

Detaylandırılması gereken arayüzlerden bir tanesi de rulman yatağıdır. Rulman yatağının oluşturulmasında “RULMAN ARAYÜZÜ” referans yüzeyi kullanılarak yüzey hacmi katı modele “extrude” komutu ile dönüştürülmüştür (Resim 4.15).



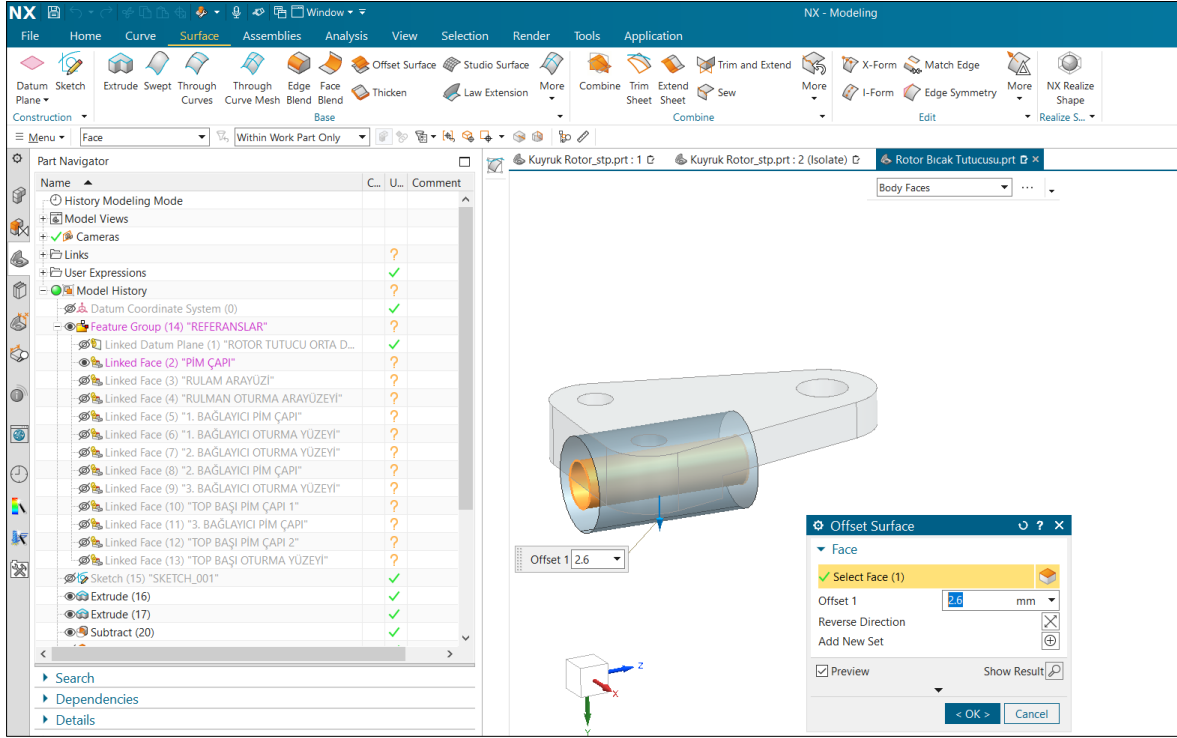
Resim 4.15. Rulman yatağını temsil eden katı model

Rulman yatak katı modeli oluşturulduktan sonraki aşama ise bu katı hacmin asıl parçadan “subtract” komutu ile çıkarılması ve rulman yatağının üst parçadaki kısmını oluşturmayı içerir. Resim 4.16’da gösterildiği şekilde hacim çıkarılarak yuva oluşturulmuştur.



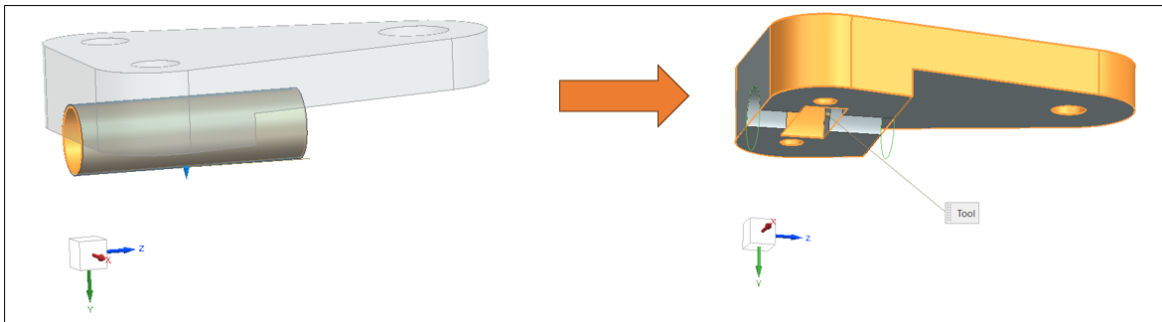
Resim 4.16. Rulman yatağını temsil eden katı model

Rulman yuvası oluşturulduktan sonra rulman ve rotor bıçak tutucunun içerisinde geçen ve arayüz oluşturan bıçak pimi için ilgili hacim çıkarma işlemi yapılmıştır. Bu işlem sırasında referans olarak ağaca bağlanan “Pim Çapı” referans yüzeyi “surface offset” komutu ile ilgili çıkarılacak alanın sınırları belirlenmiştir (Resim 4.17).



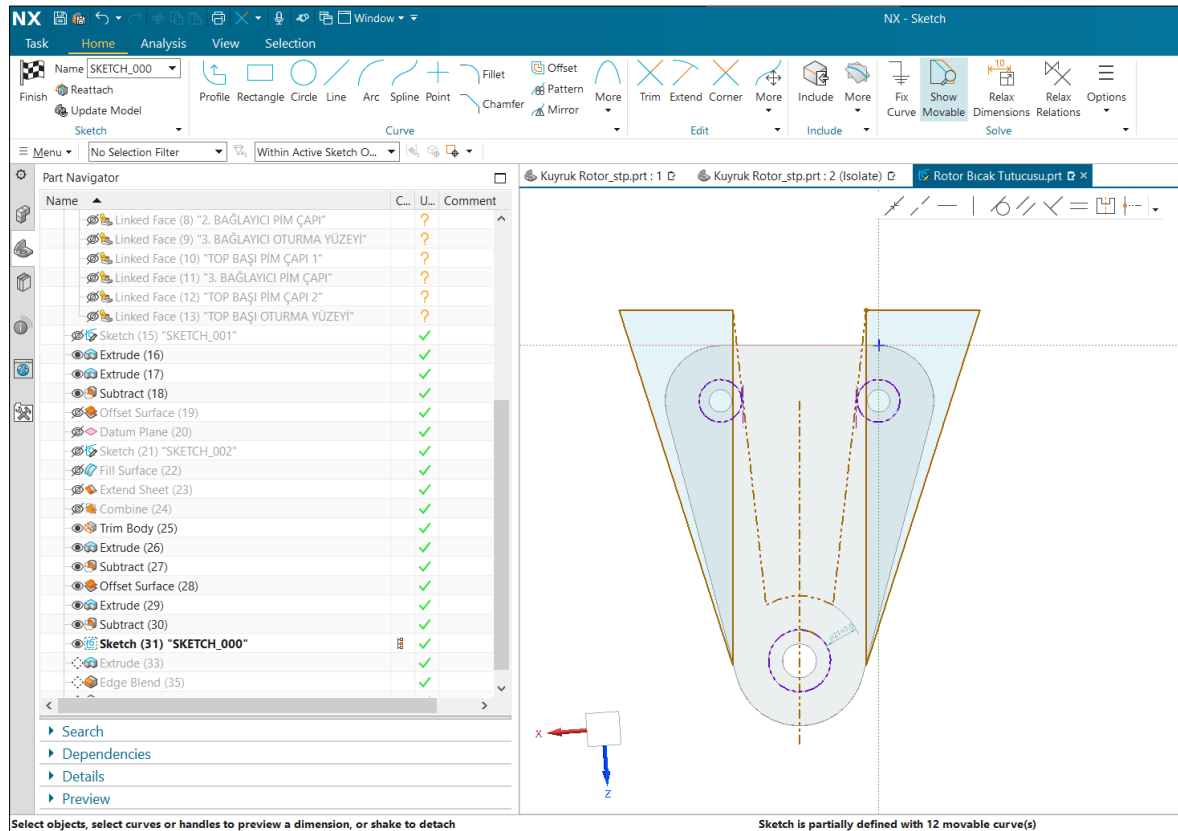
Resim 4.17. Rulman yatağını temsil eden katı model

Mevcut bölge içerisinde sadece belirli bir hacim çıkarılacağından genişletilen yüzey “extrude” komutu ile alan hacme çevrilmiştir. Bu sayede “subtract” komutu ile parçadan ilgili hacim seçilerek kolayca çıkarılması sağlanmıştır (Resim 4.18).



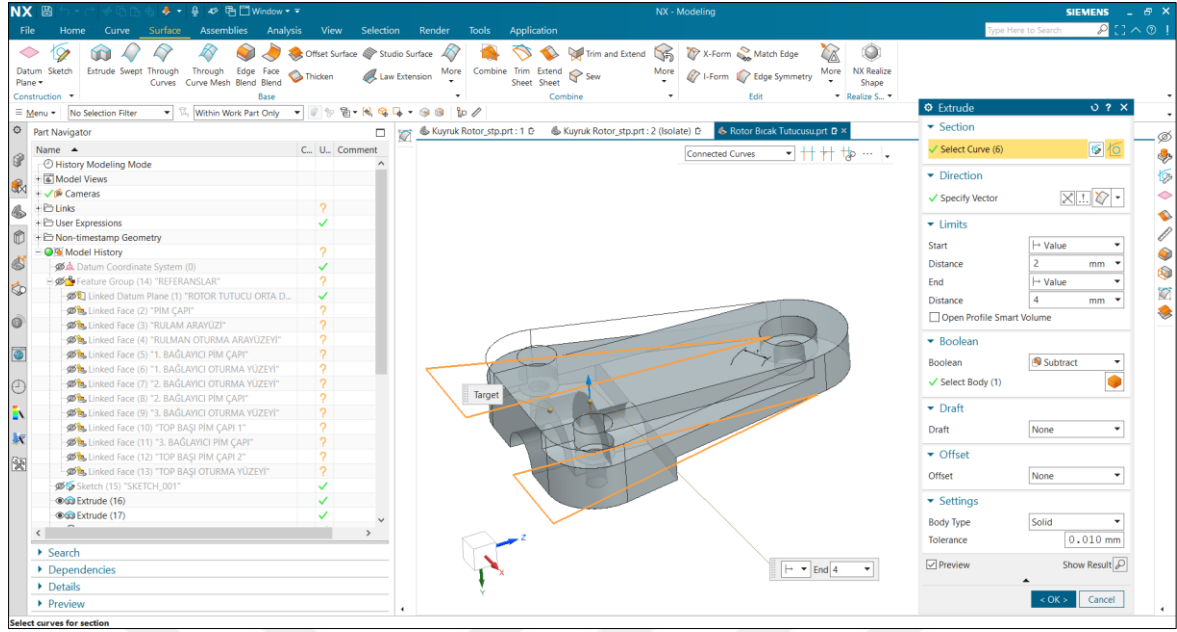
Resim 4.18. Pim arayüzünün oluşturulması

Rulman yatağı bölgesinde hacim çıkarma sebebiyle bölgede malzeme kalınlığında büyük miktarda düşüş olacaktır. Bu sebeple ilgili bölgede parça mukavemet değerlerini artırmak için kalınlık arttırılmıştır. Kalınlık artışı için ilk olarak “ROTOR TUTUCU ORTA DÜZLEM” referans düzlemi kullanılarak kalınlık için gerekli sınır koşullar çizilmiştir. Parametrik olması için ise yine bu sınırlar oluşturulurken bağlayıcılar için oluşturulan referans yüzeyler kullanılmıştır (Resim 4.19). Böylece ileride bağlayıcılarda oluşacak güncellemeler doğrudan tasarıma yansiyarak sürdürülebilir bir konsept ortaya koyacaktır.



Resim 4.19. Rulman bölgesi güçlendirilmesi için sınırlarının çizilmesi

Parçayı bu bölgede yüksek gerilmelere maruz bırakmamak amacıyla da kalınlık artışı azalarak öndeki tek bağlayıcı deliğine kadar uzatılmıştır. Bu sayede yük akışı açısından daha verimli ve mukavemet açısından da daha iyi bir tasarım ortaya konmuştur. Bunu sağlamak amacıyla da Resim 4.19’da çizilen sınır çizgisi “extrude” komutu ile parça üzerinde kalınlık arttırılmıştır (Resim 4.20). Komut kullanılırken “subtract” seçeneği seçilerek kütükten gereksiz bölge çıkarılarak sadece kalınlık artışı istenen bölge bırakılmıştır.



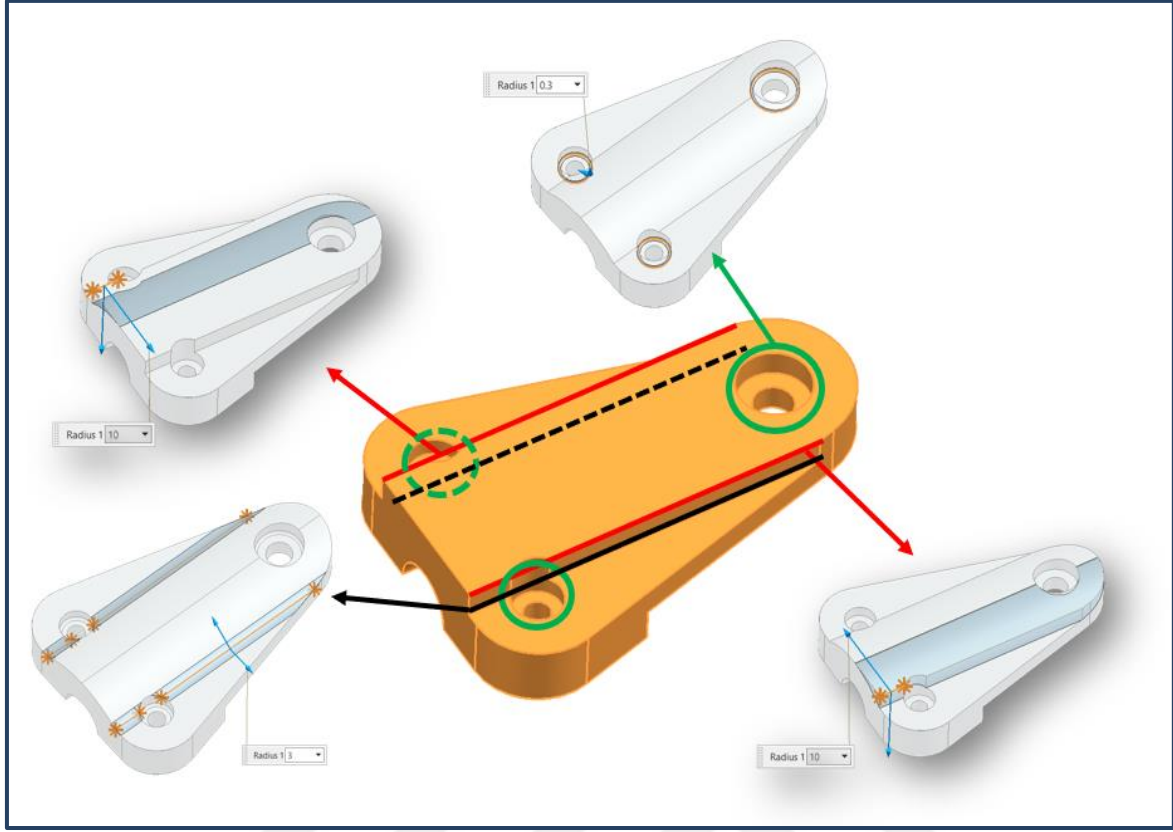
Resim 4.20. Rulman bölgesi güçlendirilmesi kalınlık artışı

Bununla beraber parçanın artık ihtiyaçlarını karşılayabilecek taslak tasarımı yapılmıştır. Arkasından parçayı nihai haline getirmek için aşağıda belirtilen tasarım kriterlerinin 3B katı modele aktarılması sağlanacaktır. Bu tasarım kriterleri genel olarak;

- Keskin kenarların giderilmesi
- Ağırlık optimizasyonu
- Köşelerde yumuşak geçişlerin sağlanması şeklindedir.

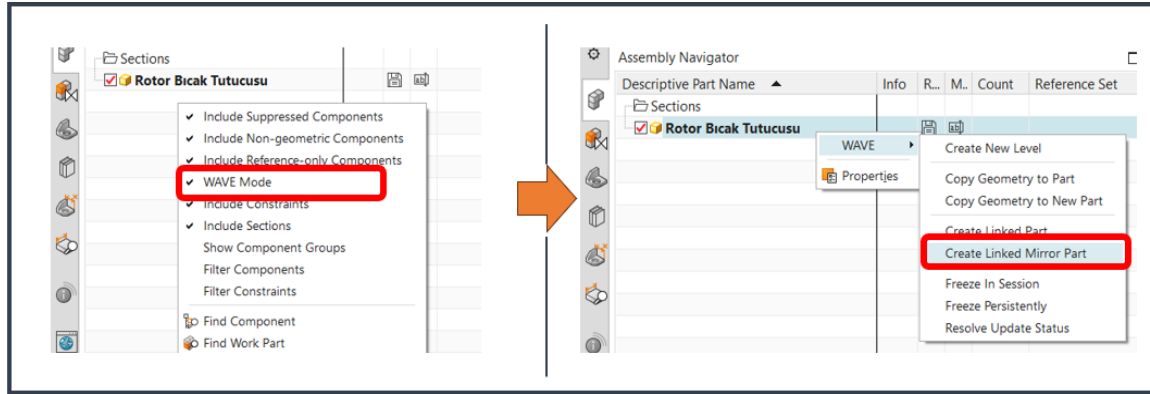
Yukarıda bahsedilen kriterler üretim sırasında oluşabilecek kenar çatlakları, kırılmaları, yüzey bozuklukları gibi hataların yanı sıra ham malzemeden de gelebilecek kusurların parçanın operasyonu sırasında kırılmasına sebebiyet vermemesi için uygulanmaktadır.

Bu nedenle, kesin kenarlar ve dip köşeler “edge blend” komutu ile yumuşak geçişlere dönüştürülmüştür (Resim 4.21).



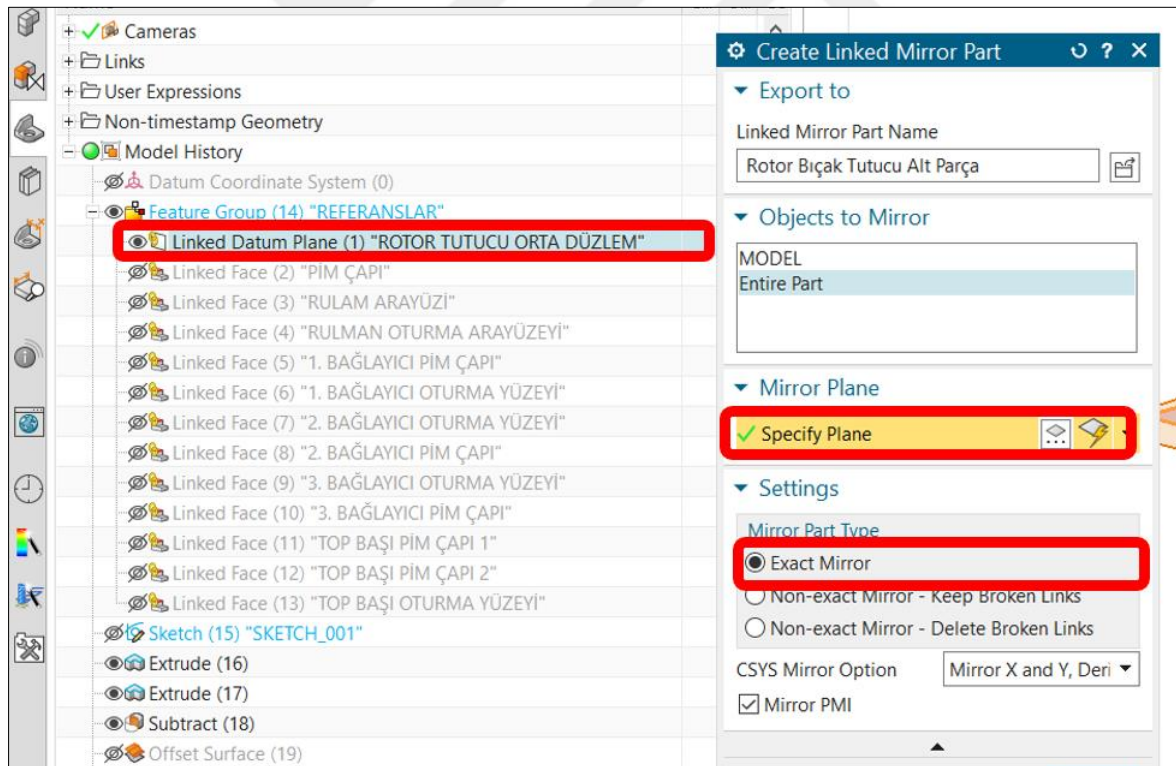
Resim 4.21. Keskin köşe ve kenarların giderilmesi

Rotor bıçak tutucunun alt kısmının üst kısmı ile arayüzeyi olan köşelerdeki keskin köşeler ise “chamfer” komutu ile giderilmiştir. Burada üretim / mekanik işleme sırasında kolaylık sağlanması amaçlanır. Düzeltmeler ile Resim 4.23’de gösterilen son haline getirilmiştir.



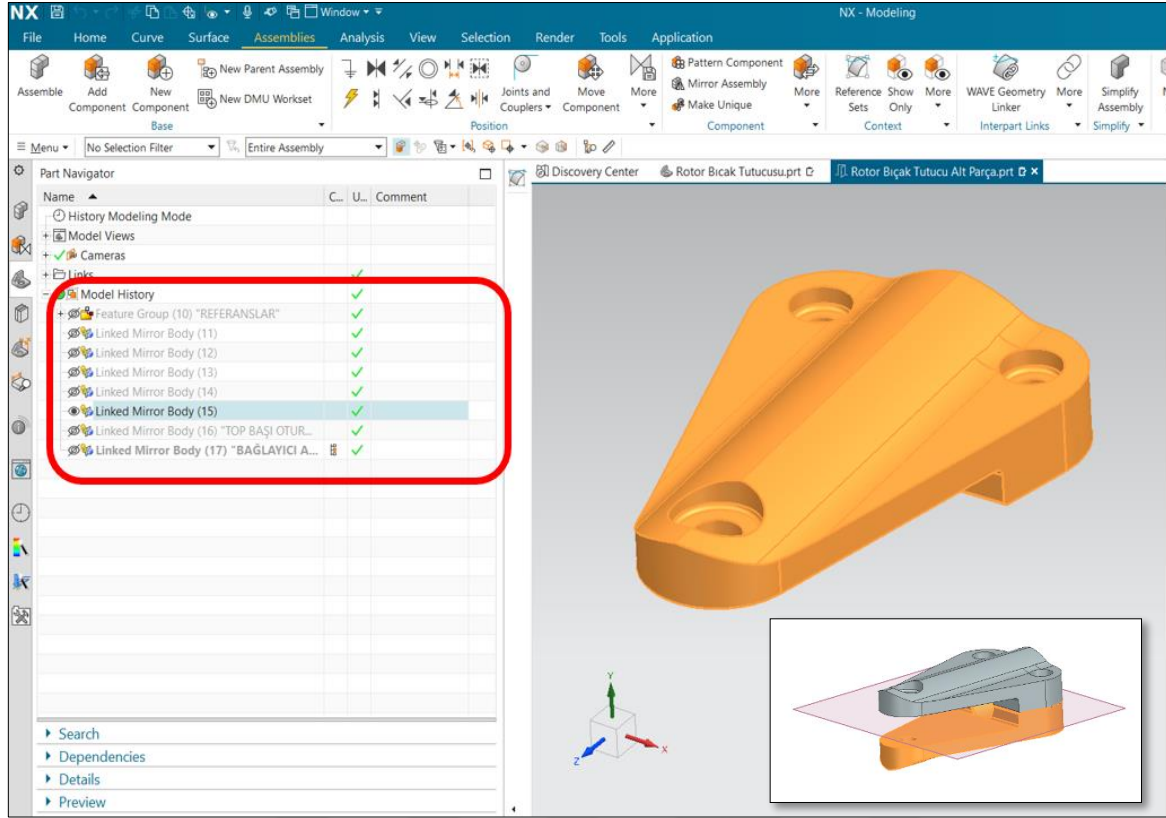
Resim 4.23. Simetrik parça bağlantısını oluşturma

Oluşturulacak parça ana parçada yapılacak bütün güncellemeleri alması istendiğinde “exact mirror” yani olduğu gibi aynalama yapılarak oluşturulur. Burada aynalama eksenini daha önceden iki rotor bıçak tutucusunun arayüzeyini temsil eden referans yüzey kullanılır (Resim 4.24).



Resim 4.24. Simetrik eksen belirleme

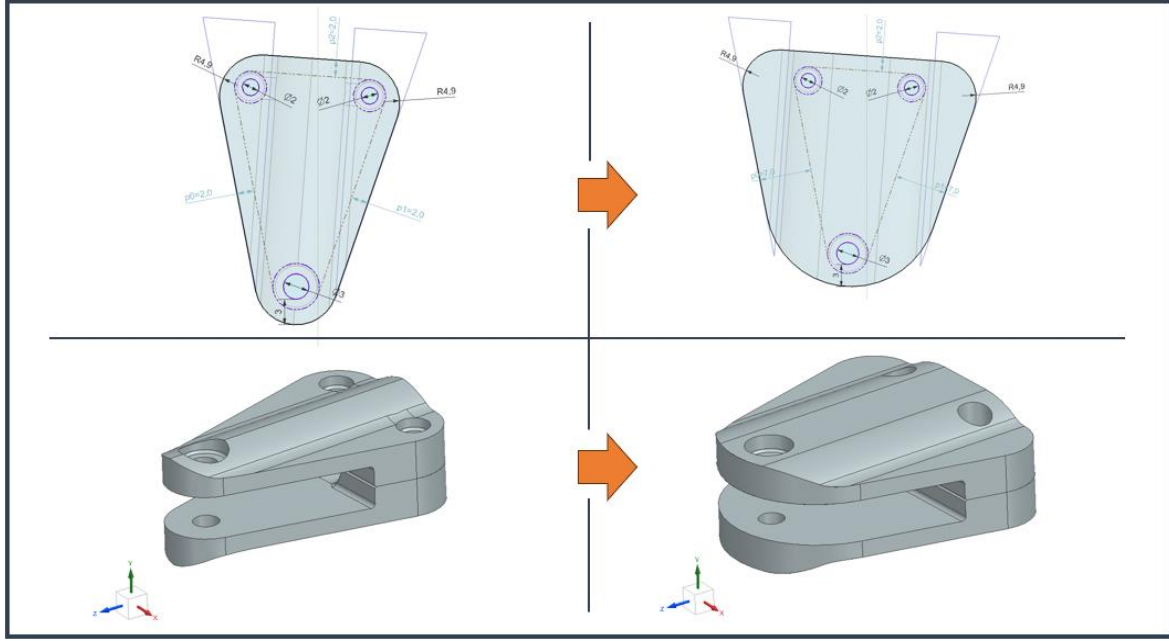
Böylece parça montaj sırasında nerede kullanılacaksa orada modellenmiş olacaktır. Oluşan parça hem başka bir parça ismi ile oluşturulmuş hem de yeni bir parça olmasına rağmen asıl parça ile bağlantılı olarak parametrik bir şekilde modellenmiştir (Resim 4.25).



Resim 4.25. Simetrik 3B katı model

Bu aşama ile Rotor Bıçak Tutucusuna ait iki ayrı parça da tasarlanmış bulunmaktadır. Sonuç olarak iki ayrı parça da olsa ilk tasarlanan, ana parça üzerinde yapılacak değişiklikler kolayca otomatik olarak simetrik diğer parça üzerinde de gerçekleşecektir. Burada parça çeşitlilik sayısını arttırarak parametrik 3B katı model kütüphanesini oluşturmak amaçlanır. Referans düzlemler ve yüzeyler kullanıldığından parçanın mevcut konumu değişmeyecek ve arayüzlerde sapmalara neden oluşturmayacağı bir örnek ile Resim 4.26'da gösterilmiştir.

Bir sonraki bölümde tasarlanan parçanın sonlu elamanlar analizi de gerçekleştirilerek kütüphaneye yüklenmesi planlanmaktadır. Bu sayede tasarlanan iş parçalarının tasarımcı tarafından değerlendirilmesi ve kullanılabilirliği sağlanacaktır.



Resim 4.26. Genişlik arttırılarak parçaların kolay bir şekilde güncellenmesi



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada parametrik tasarım ve master geometri kombinasyonu kullanılarak, sınırlı 3B veri kümesinin genişletilmesi amaçlanmıştır. Bunun için yapısal bir iş parçasının bilgisayar destekli tasarım programında parametrik olarak tasarımı yapılmıştır. Bu kapsamda 3B veri çeşidi ve kalitesi artırılmıştır. Yapılan çalışmalar, zamandan ve iş gücünden kazanılacağı için, veri seti üretmenin maliyetini azalttığını ortaya koymuştur.

Parametrik tasarım için gerekli olan incelemeler yapılarak ilgili araştırmalar değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler neticesinde parametrik tasarım ve tasarımı oluşturan yapılar, veriler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

Bu araştırmadan elde edilen bilgiler derlenerek parametrik tasarım için gerekli adımlar sıralanmıştır. En verimli şekilde tasarımı ortaya koymak adına incelenen metotlar harmanlanarak optimum yol haritası çizilmiştir. Detaylı incelemeler sonucunda ortaya konan bilgileri derlemek adına bir helikopterin kuyruk rotor montaj parçası ele alınarak karmaşık bir montaj parçasına ait detay parçanın parametrik olarak nasıl tasarlanacağı aşama aşama anlatılmıştır. Bu sayede parametrik tasarım için uygun yol haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan yol haritası, tasarımcı için parametrik tasarım yapmanın adımlarını içermektedir.

Bu çalışmada günümüzde sürekli geliştirilmek istenilen parametrik tasarım metodolojilerinden biri master geometri yöntemiyle birlikte kullanılmıştır. Tasarımcıların gerçek bir iş parçasını nasıl parametrik olarak tasarlayacağı aktarılmıştır. Referans düzlemlerin ve yüzeylerin bir arada tutulduğu bir “master geometri” oluşturularak sürdürülebilir ve değişiklik yönetimini kolayca idame edebileceği bir yöntem sunulmuştur. Bu yeni metodoloji sayesinde 3B veri kümesinin genişletilmesi sağlanmıştır. Bu sayede günümüzde kullanılabilir iş parçasının 3B veri üretimine yeni bir alternatif oluşturulmuştur. Böylece yapay zekayı da kullanarak tasarımcının harcaması gereken süreleri minimuma indirmek için çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada parametrik tasarım çalışmalarına ait bazı basit örnekler içermektedir. Yeni uygulamaların geliştirmesine katkıda bulunarak maliyet, zaman ve sürdürülebilir tasarım gibi alanlarda gelişmelere ışık tutması beklenmektedir. Derin öğrenme ile hızlı tasarım

özmleri retilbilmesi için yeni bir stratejiyle veri seti üretmede kullanılabilecektir. Bu yöntem sayesinde tasarımlar üzerinde hızlı ve kolay bir şekilde değişiklik sağladığından derin öğrenme ile ilgili çalışmalara veri kütüphanesi oluşturmada kolaylık sağlayacaktır.

Son olarak bu çalışma, parametrik tasarımla 3B veri üretimi, sürdürülebilir tasarım, mühendislik ve zaman yönetimi konusunda mühendislik çalışmalarına önemli bir katkı sağlamaktadır. Tasarımcılar uygulanan bu yöntemi kullanarak karmaşık 3B veriler üretebilir ve bu veriler üzerinde gerekli olan değişiklikleri kolay ve hızlı bir şekilde yapabilirler. Ayrıca bu yöntem sayesinde literatrdekilerden farklı olarak yapısal iş parçalarının 3B veri kütüphanesinin genişletilmesine katkı da sağlayabilirler.



KAYNAKLAR

1. Shaker, N., Togelius, J., Nelson, M. J. (2016). *Procedural content generation in games*. (1st Edition). Berlin Heidelberg: Springer, 201-223.
2. Staten, M., Owen, S., Shontz, S., Salinger, A., Coffey, T. (2011). *A Comparison of Mesh Morphing Methods for 3D Shape Optimization*. Proceedings of the 20th International Meshing Roundtable, Berlin, 293-311.
3. Krispel, U., Schinko, C., Ullrich, T. (2014, 7 Jun). *The Rules Behind - Tutorial on Generative Modeling*. Proceedings of Symposium on Geometry Processing / Graduate School, Cardiff, 2:1-2:49.
4. Chaudhuri S., Ritchie D., Wu J., Xu K., Zhang H. (2020). Learning Generative Models of 3D Structures. *Computer Graphics Forum*, 39(2), 643–666
5. Umetani, N. (2017, Nov 27). *Exploring generative 3D shapes using autoencoder networks*. SIGGRAPH Asia 2017 Technical Briefs, Bangkok, 1-4.
6. İnternet: Smart Cloud of Points Model: Point-Based Digital Media and Tools for Architectural Design. URL: <https://architecture.technion.ac.il/>, Son Erişim Tarihi 03.01.2024
7. İnternet: Aish, R. (2005). Introduction to GenerativeComponents, a parametric and associative design system for architecture, building engineering and digital fabrication. URL: <https://web.arch.virginia.edu>, Son Erişim Tarihi: 5 Nisan 2024.
8. İnternet: Davidson, S. (2021). Grasshopper 3D. URL: <https://www.grasshopper3d.com/>, Son Erişim Tarihi: 14 Kasım 2023.
9. İnternet: Autodesk, Dynamobim URL: <https://dynamobim.org/>, Son Erişim Tarihi: 14 Kasım 2023.
10. Coenders, J. (2011). *NetworkedDesign, Next Generation Infrastructure for Design Modelling*. Computational Design Modelling, Berlin, 39-46.
11. İnternet: McNeel, R. Rhino3D. URL: <https://www.rhino3d.com/>, Son Erişim Tarihi: 14 Kasım 2023.
12. İnternet: Karamba3D. URL: <https://www.karamba3d.com/>, Son Erişim Tarihi: 14 Kasım 2023.
13. Ross, D. T. (1961). Computer-Aided Design: A Statement of Objectives. *Communications of the ACM*, 4(5), 235-236.
14. Gloudemans, J. R., Davis, P. C., Gelhausen, P. A. (1996). *A rapid geometry modeler for conceptual aircraft*. 34th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, NV, 96.
15. Alonso, J., Martins, J., Reuther, J., Haimes, R., Crawford, C. (2003, Jun 23). *High-Fidelity Aero-Structural Design Using a Parametric CAD-Based Model*. 16th AIAA Computational Fluid Dynamics Conference, Orlando, Florida, AIAA-2003-3429.

16. Bowcutt, K. (2003, Dec. 15-19). *A Perspective on the Future of Aerospace Vehicle Design*. 12th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies, Norfolk, Virginia, AIAA 2003-6957.
17. Berard, A., Rizzi, A., Işıkveren, A. T. (2008, August 18-21). *CADac: a new geometry construction tool for aerospace vehicle pre-design and conceptual design*. 26th Applied Aerodynamics Conference, Honolulu, Hawaii, USA, AIAA-2008-6219.
18. Crespi, V., Galstyan, A., Lerman, K. (2008, April 1). Top-down vs bottom-up methodologies in multi-agent system design. *Autonomous Robots*, 24(3), 303-313.
19. Rowe, J. (2006, January). CATIA V5 R15 a lot to learn, but a lot to like. *Cadalyst*. 23(1), 26-28.
20. Banerjee, S., Thomas, P., Cai, X. (2013). CATIA V5-Based Parametric Aircraft Geometry Modeler. *SAE International Journal of Aerospace*, 6(1), 311-321.
21. Temilade, L., Farhad, N., Sara, Z. (2010, June 30-July 2). *Accidents in Pressure Vessels: Hazard Awareness*. Proceedings of the World Congress on Engineering 2010 Vol II WCE 2010, London, U.K.
22. Hyder, M., Asif, M. (2008). Optimization of location and size of opening in a pressure vessel cylinder using ANSYS. *Engineering Failure Analysis - ENG FAIL ANAL*, 15(1), 1-19.
23. Wangikar, S., Patowari, P., Misra, R. (2018). Numerical and experimental investigations on the performance of a serpentine microchannel with semicircular obstacles. *Microsystem Technologies*, 24(3), 3307-3320.
24. Moss, Dennis R. (2012). *Pressure Vessel Design Manual* (4th Edition). Amsterdam: Elsevier Science, 37-138.
25. Sinnott, R. K. (2014) . *Chemical engineering Design*. (2nd Edition). Amsterdam: Elsevier, 703-789.
26. Gupta, S. (2014, June). Design of Horizontal Pressure vessel using PVElite Software. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 1(1), 58-63.
27. Jadhav, C., Pukale, K., Jundale, K., More, S. Parametric optimization for nozzle diameter and location of horizontal pressure vessel using NX CAD and ANSYS software. *Aegaeum Journal*, 8(4), 1970-1983.
28. İnternet: Deep learning for detection of diabetic eye disease. URL: <https://research.googleblog.com/2016/11/deeplearning-for-detection-of-diabetic.html>, Son Erişim Tarihi: 17 Şubat 2023.
29. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016). *Deep Learning*. Proceedings of the MIT Press, Cambridge.
30. Bach, S., He, B., Ratner, A., Re, C. (2017). *Learning the Structure of Generative Models without Labeled Data*. Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning, Sydney, Australia, 273-282.

31. Polyzotis, N., Roy, S., Whang, S., Zinkevich, Martin. (2018). Data Lifecycle Challenges in Production Machine Learning: A Survey. *ACM SIGMOD Record*, 47(2), 17-28.
32. Polyzotis, N., Roy, S., Whang, S. E., Zinkevich, M. (2017, May 14-19). *Data management challenges in production machine learning*. Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Management of Data, Chicago Illinois USA, 1723-1726.
33. Xu, Y., Tong, X., Stilla, U. (2021, March 13). Voxel-based Representation of 3D Point Clouds: Methods, Applications, and its Potential Use in the Construction Industry. *Automation in Construction*, 126, 103675.
34. Poullis, C. (2013, November 11). A Framework for Automatic Modeling from Point Cloud Data. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 35(11), 2563-75.
35. Wang, Q., Tan, Y., Mei, Z. (2020, April 1). Computational Methods of Acquisition and Processing of 3D Point Cloud Data for Construction Applications. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 27, 479-499.
36. Bello, S. A., Yu, S., Wang, C., Adam, J. M. (2020). Review: Deep Learning on 3D Point Clouds. *Remote Sensing*, 12, 1-34.
37. Attene, M., Campen, M., & Kobbelt, L. (2013). Polygon mesh repairing: An application perspective. In *ACM Computing Surveys*. 45(2), 1-33.
38. Feng, Y., Feng, Y., You, H., Zhao, X. and Gao, Y. (2019). *MeshNet: Mesh Neural Network for 3D Shape Representation*. In Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence, Honolulu, Hawaii, USA, 8279-8286.
39. Rogers , David F. (2001). *An Introduction to NURBS With Historical Perspective*. (1st Edition). Burlington: Morgan Kaufmann, 43-126.
40. Roh, Y., Heo, G., Whang, S. (2019). A Survey on Data Collection for Machine Learning: A Big Data - AI Integration Perspective. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 33(1), 1328-1347.
41. Iyer N, Jayanti S, Lou K. (2005). Shape-based searching for product lifecycle applications. *Computer-Aided Design*, 37(13), 1435-1446.
42. Jackson C., Buxton M. (2007). The design reuse benchmark report: seizing the opportunity to shorten product development. *Aberdeen Group*. Boston, 1-14.
43. El Hani, M. A., Rivest, L., Maranzana, R. (2012). *Product Data Reuse in Product Development: A Practitioner's Perspective*. In Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises: IFIP WG 5.1 International Conference, Montreal, 243-256.
44. Shah, Jami J. (1991). Assessment of features technology. *Computer-aided design*, 23(5), 331-343.

45. Bodein, Y., Rose, B., Caillaud, E. (2014). Explicit reference modeling methodology in parametric CAD system. *Computers in Industry*, 65(1), 136-147.
46. Branoff, T. J. (2014). *Examining the constraint-based modeling strategies of undergraduate students*. Proceedings of the 69th midyear conference engineering design graphics division ASEE, Normal, 54-66.
47. Leahy, K. (2013). Promoting best practice design intent in 3D CAD for engineers through a task analysis. *American Journal of Engineering Research*, 2(5), 71-77.
48. Rynne, A., Gaughran, W. (2007). Cognitive modeling strategies for optimum design intent in parametric modeling (PM). *Computers in Education Journal*, 18(3), 55-68.
49. Gerber, D. J. (2007). *Parametric Practices: Models for Design Exploration in Architecture*. PhD Thesis, Harvard University Graduate School of Design, Cambridge.
50. Ruiter, Maurice M. (1988). *Advances in computer graphics III*. (5th Edition). Milano: Springer, 34, 218, 224, 254.
51. Atharifar, H., Yildiz, F., Knapp, J. (2013). *Survey of the Current Academic and Industrial Trends in Utilizing the CADD Technology*. Proceeding of the 120th ASEE annual conference and exposition, Atlanta, 23.1121.1-23.1121.14.
52. İnternet: Horizontally-structured CAD/CAM modeling for virtual concurrent product and process design. URL: <https://patents.google.com/patent/US6775581B2/en>, Son Erişim Tarihi: 18 Kasım 2023.
53. Roller D. (1991). An approach to computer-aided parametric design. *Computer-Aided Design*, 23(5), 385-391.
54. Camba, J. D., Contero, M., Company, P., (2016). Parametric CAD modeling: An analysis of strategies for design reusability. *Computer-Aided Design*, 74, 18-31.
55. Bluntzer, J. B., Samuel G., and Sagot, J. C. (2009). *Definition of a knowledge representation based on functional CAD models*. Proceedings of ICED 09, the 17th International Conference on Engineering Design, Vol. 8, Design Information and Knowledge, Palo Alto, 111-122.
56. Johnson, M., Diwakaran, R. (2011). An educational exercise examining the role of model attributes on the creation and alteration of CAD models. *Computers & Education*, 57(2), 1749-1761.
57. İnternet: A Resilient Modeling Strategy - Richard Gebhard. URL: <https://community.sw.siemens.com/s/article/seu13-122-a-resilient-modeling-strategy-richard-gebhard>, Son Erişim Tarihi: 20.04.2023.



Gazili olmak ayrıcalıktır