



**EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMLERİ İLE ÜRETİLECEK PARÇALARIN
MALZEME SEÇİMİ VE TASARIM ENİYİLEMESİNE YÖNELİK BİR
YAKLAŞIMIN GELİŞTİRİLMESİ**

Muhammed AKAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2023

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.

Muhammed AKAY

28/12/2023

EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMLERİ İLE ÜRETİLECEK PARÇALARIN MALZEME SEÇİMİ VE TASARIM ENİYİLEMESİNE YÖNELİK BİR YAKLAŞIMIN

GELİŞTİRİLMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammed AKAY

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2023

ÖZET

Malzemelerin katmanlar halinde birleştirilmesi yoluyla üretim imkanı sunan eklemeli imalat başlangıçta hızlı prototipleme metodu olarak ortaya çıkmıştır. Eklemeli imalat, kullanıcılara sunduğu üstün imalat kabiliyetleri sayesinde geleneksel metotlar ile üretimi mümkün olmayan veya zor ve maliyetli olan parça geometrilerinin üretimini mümkün kılmıştır. Eklemeli imalat teknolojisinin etkin şekilde kullanılabilmesi ve yaygınlaşabilmesi için teknolojiye yönelik ürünlerin malzeme seçimi, ürün ve tasarım mantalitesi noktasında ön görü ve bakış açısına sahip olunmalıdır. Bu kapsamda, eklemeli imalat teknolojileri ile üretilecek parçaların malzeme seçimi ve üretilebilir tasarım geometrilerinin oluşturulması gibi konularda kullanıcıları yönlendirecek bir rehber ihtiyacı söz konusudur. Bu tez çalışmasında veri tabanında eklemeli imalat proseslerinde kullanılan 46 ana malzeme grubundan 401 farklı malzemenin bulunduğu, 14 farklı malzeme seçim kriterinde, tasarlanacak parça için malzeme seçimi ve önerisi sunabilen; buna ek olarak 4 ana malzeme grubunda 21 temel malzeme için 7 farklı tasarım parametresinde üretilebilirlik açısından sık tercih edilen sınır şartlarını sunan Excel VBA tabanlı AM Guide(Additive Manufacturing Guide-Eklemeli İmalat Rehberi) isimli bir program hazırlanmıştır. Sonrasında mevcut süreçte geleneksel imalat metotları ile üretilen çan krank (bellcrank) parçası için AM Guide programı üzerinden seçilen iki alternatif malzeme ile üretken tasarım yaklaşımı kullanılarak eklemeli imalata yönelik kütle minimizasyonu hedefli iteratif bir tasarım modernizasyonu çalışması gerçekleştirilmiştir. Tasarım iterasyonları sonrasında elde edilen aday model, çalışma sınır şartları ve AM Guide tasarım önerileri dikkate alınarak nihai geometrisine kavuşturulmuştur. Yapısal analiz çalışmaları ile parçanın tasarım hedefleri ve gereksinimleri çerçevesinde iyileştirilen fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Bilim Kodu : 91439
Anahtar Kelimeler : Eklemeli imalat, hızlı prototipleme, üretken tasarım, çan krank parçası, AM Guide- Eklemeli İmalat Rehberi
Sayfa Adedi : 179
Danışman : Prof. Dr. Mustafa YURDAKUL

DEVELOPING AN APPROACH FOR MATERIAL SELECTION AND DESIGN
OPTIMIZATION OF PARTS TO BE PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING
METHODS

(M. Sc. Thesis)

Muhammed AKAY

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2023

ABSTRACT

Additive manufacturing which ensures the possibility of production by combining materials in layer by layer, initially emerged as a rapid prototyping method. It has made it possible to produce part geometries that are not possible or difficult and costly to produce with traditional methods, with its superior manufacturing capabilities. In order for the additive manufacturing technology to be used effectively and become widespread, it is necessary to have foresight and perspective in terms of material choices, product, and design mentality. In this context, there is a need for a guide to users on issues such as material selection of the parts to be produced with additive manufacturing technologies and creation of producible design geometries. In this thesis, A program called AM Guide (Additive Manufacturing Guide) based on Excel VBA with a database that contains 401 different materials from 46 main material groups used in additive manufacturing processes has been prepared. This program could suggest material selection advice for in 14 different material selection criteria for the part to be designed, in addition to this, program could suggest frequently preferred 7 design parameters or boundary conditions for in terms of manufacturability for 21 basic materials in 4 main material groups. Afterwards, an iterative design modernization study aimed at mass minimization for additive manufacturing was carried out with a generative design approach for two alternative materials selected through the AM Guide program for the bellcrank part produced with traditional manufacturing methods in the current process. The candidate model that obtained after design iterations was reached to final geometry according to boundary conditions and AM Guide recommendations. The physical and mechanical properties of the part, which were improved through design objectives and requirements, were examined with structural analysis works.

Science Code : 91439

Key Words : Additive manufacturing, rapid prototyping, generative design, belcrank part, AM Guide- Additive Manufacturing Guide

Page Number : 179

Supervisor : Prof. Dr. Mustafa YURDAKUL

TEŞEKKÜR

Çalışma sürecimde bilgi ve desteğini esirgemeyip tecrübe ve birikimi ile yol gösteren çok değerli hocam, tez danıőmanım Prof. Dr. Mustafa YURDAKUL' a, değerlendirmeleri ve yönlendirmeleri ile çalıőmama önemli katkılar yapan Prof. Dr. Yusuf Tansel İÇ hocama en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Tez sürecimde ve hayatımın geri kalanında desteklerini arkamda hissettiğim, bana her daim inanan ve güvenen annem Deniz AKAY' a, kardeőim Batuhan Samed AKAY' a ve kalbimin en kıymetli köőesinde nefes almaya devam eden babam Hulüsi AKAY' a sevgi, minnet ve teşekkürlerimle...



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. EKLEMELİ İMALAT TEKNOLOJİSİ	5
2.1. Eklemeli İmalat Yöntemlerinin Sunduğu Olanaklar ve İçerdiği Kısıtlamalar....	9
2.1.1. Eklemeli imalat yöntemlerinin sunduğu olanaklar	9
2.1.2. Eklemeli imalat yöntemlerinin içerdiği kısıtlamalar.....	11
2.2. Eklemeli İmalata Yönelik Tasarımda Malzeme Seçim Metotları.....	13
2.3. Eklemeli İmalata Yönelik Modellemede Üretken Tasarım Yaklaşımı	18
2.3.1. Üretken tasarımın iteratif süreci.....	18
3. “EKLEMELİ İMALAT KILAVUZU” MALZEME SEÇİM VE TASARIM DONESİ ÖNERME PROGRAMI.....	25
3.1. “Additive Manufacturing Guide (AM GUIDE)” Yazılımı Arayüzü ve Kullanımı.....	27
3.1.1. Guide-material selection (malzeme seçim rehberi) ekranı	28
3.1.2. Guide-design for additive manufacturing (Eklemeli imalat için tasarım rehberi)	78
3.1.3. Eklemeli imalata yönelik tasarım iterasyonu için malzeme seçimi ve tasarım değişkenlerinin tespiti.....	81

4. ÇAN KRANK PARÇASININ ÜRETKEN TASARIM METODU İLE EKLEMELİ İMALATA YÖNELİK TASARIM MODERNİZASYONU	87
4.1. Parçanın Mekanik Özellikleri Çalışma Koşulları ve İmalat Metodu	87
4.2. Mevcut Tasarımın Statik Analizi	89
4.3. Eklemeli İmalat Prosesi İçin Üretken Tasarım Uygulaması	93
4.4. Mevcut Tasarımın Montaj İçindeki Çalışma Şartlarının Tespiti ve Sınır Geometrilerinin Belirlenmesi	94
4.4.1. Korunmuş geometriler (preserve geometry)	94
4.5. Üretken Tasarım Çıktılarının İncelenmesi ve Final Tasarımın Seçilmesi	106
4.5.1. Üretken tasarım iterasyonu çıktıları	109
4.5.2. Üretken tasarım çıktıları arasından uygun tasarımın seçilmesi	117
4.5.3. Üretken tasarım çıktıları arasından uygun tasarımın seçilmesi	127
4.5.4. Seçilen modelin geometrisi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi	131
4.5.5. Üretken tasarım model çıktısının iyileştirilmesi	137
4.5.6. Nihai modelin statik analiz sonuçları	142
4.5.7. Tasarım çıktılarının karşılaştırılması ve sonuçlar	147
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	151
KAYNAKLAR	155
EKLER	157
EK-1. AM Guide veri tabanı malzemeleri	158
EK-2. Power Query sorguları	169
EK-3. Power Pivot ilişkileri	177
EK-4. Pivot table alanları ve filtreleme yaklaşımı	178
ÖZGEÇMİŞ	179

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Toz yataklı birleştirme prosesi.....	5
Çizelge 2.2. Yapıştırıcı püskürtme prosesi	6
Çizelge 2.3. Direkt enerji biriktirme	6
Çizelge 2.4. Malzeme ekstrüzyonu prosesi.....	7
Çizelge 2.5. Malzeme püskürtme prosesi	7
Çizelge 2.6. Plaka tabakalaştırma prosesi.....	8
Çizelge 2.7. Havuz fotopolimerizasyonu prosesi	8
Çizelge 2.8. Üretken tasarım iterasyonu gerçekleştirilebilen CAD yazılımları.....	21
Çizelge 2.9. Farklı yazılımların sonuçları.....	22
Çizelge 3.1. Criteria (kriterler).....	30
Çizelge 3.2. Malzeme sayısının genel malzeme özelliklerine göre dağılımı.....	34
Çizelge 3.3. Processing method (imalat metotları) proses kapsamı	38
Çizelge 3.4. Uses (kullanım alanları) kriteri içeriği.....	46
Çizelge 3.5. Appearance (dış görünüş) seçim opsiyonları.....	50
Çizelge 3.6. Forms (malzeme formu) seçim opsiyonları.....	52
Çizelge 3.7. Additive (malzeme katkısı) seçim opsiyonları	53
Çizelge 3.8. Filler/reinforcement (dolgu-takviye yapılar) seçim opsiyonları.....	55
Çizelge 3.9. Resin ID (ISO 1043) seçim opsiyonları.....	58
Çizelge 3.10. Agency ratings (derecelendirilme puanı) seçim opsiyonları	59
Çizelge 3.11. UL File number (UL dosya numarası) seçim opsiyonları	61
Çizelge 3.12. ISO Designation (ISO tanımı) seçim opsiyonları	62
Çizelge 3.13. RoHS compliance (RoHS uyumluluk) seçim opsiyonları	63
Çizelge 3.14. Availability (temin edilebilirlik) seçim opsiyonları	65
Çizelge 3.15. Criteria (kriterler).....	74

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.16. Eklemeli imalata yönelik tasarım değişkeni önerisi sunulan temel malzemeler.....	79
Çizelge 3.17. Öneri sunulan tasarım değişkeni ve yaklaşımları	80
Çizelge 3.18. ABS_guidelines için sonuçlar.....	81
Çizelge 4.1. Table view (tablo görünümü üretim çıktıları).....	117
Çizelge 4.2. Aday modellerin özellikleri	127
Çizelge 4.3. Aday modeller ve kütle hafifleme miktarları	127
Çizelge 4.4. Aday modellerin Maks. von Mises gerilimi (MPa) ve emniyet katsayısı değerleri	128
Çizelge 4.5. Aday modeller ve en yüksek yer değiştirme büyüklükleri	128
Çizelge 4.6. Aday modeller için yazılım önerisi.....	128
Çizelge 4.7. Parça modellerinin minimum emniyet katsayıları.....	148
Çizelge 4.8. Parça modellerinin kütleleri ve tasarım değişimlerinin sağladığı kütle kazançları.....	148
Çizelge 4.9. Parça modellerinin von Mises gerilmesi ve yer değiştirme miktarı değerleri	149

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Çalışmanın akış şeması	4
Şekil 2.1. Malzeme seçiminde temel basamaklar	14
Şekil 2.2. Önerilen metodoloji	15
Şekil 2.3. AHP metodolojisi.....	15
Şekil 2.4. Metot 1 akış şeması.....	16
Şekil 2.5. Metot 2 akış şeması.....	17
Şekil 2.6. Üretken tasarım akış şeması.....	19
Şekil 2.7. Topoloji optimizasyonu akış diyagramı.....	20
Şekil 2.8. Üretken tasarım akış diyagramı	20
Şekil 2.9. Yüklenme durumu	21
Şekil 2.10. a) Fusion 360, b) Solid Edge, c) CogniCAD	22
Şekil 4.1. Çan krank parçası.....	87
Şekil 4.2. Çan krank parçasının montaj içerisindeki yeri ve çalışma şekli.....	87
Şekil 4.3. Parçanın maruz kaldığı yükler	88
Şekil 4.4. “Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel” malzeme özellikleri	89
Şekil 4.5. Mevcut tasarımın fiziksel özellikleri	89
Şekil 4.6. “Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel” malzeme özellikleri	90
Şekil 4.7. “Yüklenme Durumu-I” maruz kalınan kuvvetler	90
Şekil 4.8. “Yüklenme Durumu-I” statik analiz sonuçları	91
Şekil 4.9. Analiz değerleri sırasıyla: emniyet katsayısı, von Mises gerilmesi, toplam yer değiştirme.....	91
Şekil 4.10. “Yüklenme Durumu-II” maruz kalınan kuvvetler.....	92
Şekil 4.11. “Yüklenme Durumu-II” statik analiz sonuçları.....	92
Şekil 4.12. Analiz değerleri sırasıyla: emniyet katsayısı, von Mises gerilmesi, toplam yer değiştirme.....	93
Şekil 4.13. Parçanın alt montaj kompleksinde bulunduğu yer.....	94

Şekil	Sayfa
Şekil 4.14. Korunmuş geometrilere dahil edilecek pim delikleri	95
Şekil 4.15. Mil-göbek temas yüzeyi	96
Şekil 4.16. Çan krank parçasının mavi uzuvla temas bölgesi.....	96
Şekil 4.17. İlk parça modeli ve üretken tasarım sonrası final modelde korunacak bölgeler	97
Şekil 4.18. Korunmuş bölgeler ve ofset ölçüleri.....	98
Şekil 4.19. Starting shape (başlangıç şekli)	99
Şekil 4.20. Engel geometriler (obstacle geometry).....	100
Şekil 4.21. Korunmuş geometriler (preserve geometry), başlangıç şekli (starting shape) ve engel geometriler (obstacle geometry)	100
Şekil 4.22. Tasarım hedefleri ve limitleri	101
Şekil 4.23. İterasyona dahil edilen imalat metotları	102
Şekil 4.24. Seçilen imalat metotlarının sınır şartları.....	102
Şekil 4.25. İmalat metotları için gerçekleştirilen malzeme atamaları.....	103
Şekil 4.26. Fusion 360 malzeme tanımlamaları (EOS Stainless Steel PH1 ve EOS Maraging Steel MS1 (after age hardening))	104
Şekil 4.27. Parçanın sınır şartları ve yüklenme durumları.....	104
Şekil 4.28. Üretken tasarım çalışması ürün ağacı	105
Şekil 4.29. İterasyon sonuçlarının görüntülenmesi.....	106
Şekil 4.30. Örnek thumbnail view	106
Şekil 4.31. Örnek properties view.....	107
Şekil 4.32. Scatter plot view ekranı	107
Şekil 4.33. Table view ekranı	108
Şekil 4.34. “Üretken tasarım çalışması-I” çıktıları 1	109
Şekil 4.35. “Üretken tasarım çalışması-I” çıktıları 2	110
Şekil 4.36. “Üretken tasarım çalışması-I” çıktıları 3	110
Şekil 4.37. “Üretken tasarım çalışması-II” çıktıları 1	111

Şekil	Sayfa
Şekil 4.38. “Üretken tasarım çalışması-II” çıktıları 2.....	111
Şekil 4.39. “Üretken tasarım çalışması-II” çıktıları 3.....	112
Şekil 4.40. Maksimum von Mises gerilmesi (MPa) x kütle (kg) dağılımı (aday malzeme bazlı).....	113
Şekil 4.41. Maksimum yer değiştirme-global (mm) x kütle (kg) dağılımı (aday malzeme bazlı).....	114
Şekil 4.42. Maksimum von Mises gerilimi (MPa) x kütle (kg) dağılımı (imalat metodu bazlı).....	115
Şekil 4.43. Maksimum yer değiştirme-global (mm) x kütle (kg) dağılımı (imalat metodu bazlı).....	116
Şekil 4.44. Outcome filters (çıkıtı filtreleri).....	118
Şekil 4.45. Outcome filters (çıkıtı filtreleri) kısıtlamaları.....	118
Şekil 4.46. Maksimum von Mises gerilimi x kütle dağılımı.....	120
Şekil 4.47. Maksimum von Mises gerilimi x maksimum yer değiştirme-global dağılımı.....	120
Şekil 4.48. Maksimum von Mises gerilimi x minimum emniyet katsayısı dağılımı.....	121
Şekil 4.49. Maksimum von Mises gerilimi x hacim dağılımı.....	121
Şekil 4.50. Maksimum yer değiştirme-global x kütle dağılımı.....	122
Şekil 4.51. Aday modeller ve stres dağılımları-I.....	123
Şekil 4.52. Aday modeller ve stres dağılımları-II.....	124
Şekil 4.53. Aday modeller ve stres dağılımları-III.....	125
Şekil 4.54. Aday modeller ve stres dağılımları-IV.....	126
Şekil 4.55. Tasarım iterasyonlarında orantısız yığılan örnek malzeme bölgeleri.....	129
Şekil 4.56. Outcome-1 üretken tasarım iterasyonları.....	130
Şekil 4.57. Parça modeli, fiziksel özellikleri ve malzeme özellikleri (malzeme kütüphanesi).....	131
Şekil 4.58. “EOS Stainless Steel PH1” malzeme özellikleri.....	132
Şekil 4.59. “Yüklenme Durumu-I” statik analiz sonuçları.....	133

Şekil	Sayfa
Şekil 4.60. Analiz değerleri sırasıyla: emniyet katsayısı, von Mises gerilmesi, toplam yer değiştirme.....	134
Şekil 4.61. “Yüklenme Durumu-II” statik analiz sonuçları.....	135
Şekil 4.62. Analiz değerleri sırasıyla: emniyet katsayısı, von Mises gerilmesi, toplam yer değiştirme.....	136
Şekil 4.63. Emniyet katsayısını sağlamayan bölgeler.....	137
Şekil 4.64. Riskli bölgeler ve emniyet katsayısı değerleri.....	138
Şekil 4.65. Riskli bölgelerin değerlendirilmesi.....	138
Şekil 4.66. Aday tasarım çıktısının T-spline yapısı.....	139
Şekil 4.67. Nihai tasarım çıktısının T-spline yapısı.....	140
Şekil 4.68. Nihai parça modeli.....	141
Şekil 4.69. Parça geometrisindeki değişim.....	142
Şekil 4.70. Nihai tasarımın fiziksel özellikleri.....	142
Şekil 4.71. “Yüklenme Durumu-I” statik analiz sonuçları.....	143
Şekil 4.72. Analiz değerleri sırasıyla: emniyet katsayısı, von Mises gerilmesi, toplam yer değiştirme.....	144
Şekil 4.73. “Yüklenme Durumu-II” statik analiz sonuçları.....	145
Şekil 4.74. Analiz değerleri sırasıyla: emniyet katsayısı, von Mises gerilmesi, toplam yer değiştirme.....	146
Şekil 4.75. Amaç fonksiyonu ve limit.....	147

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Eklemeli imalat ile üretilmek üzere modernize edilmiş bir uçak parçası.....	9
Resim 2.2. Eklemeli imalat ile üretilmiş protezler	10
Resim 2.3. El protezinde dört farklı malzemeden oluşan bir el protezi.....	11
Resim 2.4. Kademeli olarak eklemeli imalat ile üretilen volan parçası.....	11
Resim 2.5. SLM metodunda farklı açılar ile inşa edilen yapılarda yüzey pürüzlülüğü..	12
Resim 2.6. Üretken tasarım ile modellenen şaselerin DJI F450 dron şasesi ile karşılaştırması	23
Resim 2.7. Üretken tasarım ve geleneksel parça mekanikleri	24
Resim 3.1. AM GUIDE başlangıç ekranı	27
Resim 3.2. “Guide-material selection” ekranı	28
Resim 3.3. “Criteria (kriterler)” ekranı	29
Resim 3.4. General features ekranı feature list.....	32
Resim 3.5. Result (sonuç ekranı)	33
Resim 3.6. Processing method (imalat metotları) ekranı.....	39
Resim 3.7. Processing method (selection with filter) opsiyonu ekranı.....	40
Resim 3.8. Processing method (selection with filter) opsiyonu örnek uygulama.....	41
Resim 3.9. Processing method (selection with search bar) ekranı.....	42
Resim 3.10. Processing method (selection with search bar) opsiyonu örnek uygulama	43
Resim 3.11. Uses (kullanım alanları) kriteri ekranı	43
Resim 3.12. Uses (kullanım alanları) result (sonuç ekranı).....	44
Resim 3.13. Uses (kullanım alanları) kriteri ekranı opsiyon seçimi.....	45
Resim 3.14. Uses result (kullanım alanları sonuç ekranı)	45
Resim 3.15. Appearance (dış görünüş) ekranı	49
Resim 3.16. Forms (malzeme formu) ekranı	51
Resim 3.17. Additive (malzeme katkısı) ekranı.....	52

Resim	Sayfa
Resim 3.18. Filler/reinforcement (dolgu-takviye yapılar) ekranı	54
Resim 3.19. Recycled content (geri dönüşüm durumu) ekranı.....	55
Resim 3.20. Resin ID (ISO 1043) (Resin ID (ISO 1043)) ekranı.....	57
Resim 3.21. Agency ratings (derecelendirilme puanı) ekranı.....	58
Resim 3.22. UL File number (UL dosya numarası) kriter ekranı	60
Resim 3.23. ISO Designation (ISO tanımı) kriter ekranı.....	61
Resim 3.24. RoHS compliance (RoHS uyumluluk) ekranı	62
Resim 3.25. Availability (temin edilebilirlik) ekranı.....	64
Resim 3.26. Material data sheets (malzeme veri sayfaları) ekranı	65
Resim 3.27. Notepad modül ekranı ikonu	68
Resim 3.28. Kopyalama ve yapıştırma ikonu	69
Resim 3.29. Notepad modül ana ekranı	70
Resim 3.30. Örnek NOTEPAD-kullanıcı tarafından doldurulan aday malzeme listesi .	71
Resim 3.31. NOTEPAD (not defteri) aday malzeme sonuç ekranı	71
Resim 3.32. Örnek sonuç ekranı	75
Resim 3.33. Aday malzemelerin tercihli seçimi	77
Resim 3.34. Aday malzemelerin tümünün seçilmesi.....	78
Resim 3.35. Guide-design for additive manufacturing ekranı.....	80
Resim 3.36. Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel malzeme karakteristikleri	82
Resim 3.37. NOTEPAD “Result” ekranı.....	83
Resim 3.38. Malzeme veri sayfası (EOS Stainless Steel PH1).....	84
Resim 3.39. Malzeme veri sayfası (EOS Maraging Steel MS1).....	84
Resim 3.40. Çelik malzemeli modeller için yaygın olarak kullanılan tasarım sınır şartları.....	85

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

cm³	Santimetreküp
F	Kuvvet
g	Gram
J	Joule
K	Kelvin
kg	Kilogram
m	Metre
m²	Metrekare
mm	Milimetre
Mpa	Megapaskal
N	Newton
W	Weber

Kısaltmalar

Açıklamalar

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
AM	Additive Manufacturing (Eklemeli İmalat)
ASTM	American Society for Testing and Materials (Amerikan Malzeme ve Test Standartları)
BJ	Binder Jetting (Bağlayıcı Püskürtme Prosesi)
CAD	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAM	Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli Üretim)
CLIP	Continuous Liquid Interface Production (Sürekli Sıvı Arayüz Üretimi)
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayar Sayısal Kontrol)
DED	Directed Energy Deposition (Direkt Enerji Biriktirme Prosesi)

Kısaltmalar	Açıklamalar
EC	European Community (Avrupa Topluluğu)
Eİ	Eklemeli İmalat
EU	European Union (Avrupa Birliği)
FAR	Federal Aviation Regulations (Federal Havacılık Yönetmelikleri)
FDA	Food and Drug Administration (Gıda ve İlaç İdaresi)
FFF	Fused Filament Fabrication (Ergitilmiş Filament ile İmalat)
ISO	International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
JAR	Joint Aviation Requirements (Ortak Havacılık Gereksinimleri)
ME	Material Extrusion (Malzeme Ekstrüzyonu Prosesi)
MJ	Material Jetting (Malzeme Püskürtme Prosesi)
MJF	Multi Jet Fusion (Çoklu Jet Füzyon)
NSF	National Sanitation Foundation (Ulusal Hijyen Vakfı)
NURBS	Non-uniform Rational Basis Spline (Düzgün Olmayan Rasyonel Temelli Eğri)
PBF	Powder Bed Fusion (Toz Yataklı Birleştirme Prosesi)
RoHS	Restriction of Hazardous Substances (Tehlikeli Maddelerin Kısıtlanması)
SL	Sheet Lamination (Plaka Tabakalaştırma Prosesi)
T-Spline	Tension Surface Spline
UL	Underwriters Laboratories (Sigorta Değerlendirme Laboratuvarları)
USP	United States Pharmacopeia (Amerikan İlaç Formları Birliği)
UV	Ultraviyole
VBA	Visual Basic for Applications
VP	Vat Photopolymerization (Havuz Fotopolimerizasyonu Prosesi)
3B	3 Boyutlu
3D	3 Dimensional (3 Boyutlu)

1. GİRİŞ

İmalat ve malzeme teknolojileri yıllar içerisinde çeşitlenen gereksinimler çerçevesinde sürekli bir gelişim ve değişim periyodu içerisinde yer almaktadır. Eklemeli imalat teknolojileri de geleneksel imalat yöntemlerinin üretim kabiliyetlerinin ötesindeki komplekslikte parçaların imalatına olanak sağlayan bir imalat türü olarak ortaya çıkmıştır. Dövme, ekstrüzyon, döküm gibi kalıplar vasıtasıyla nihai ürünün elde edildiği prosesler olsa da bir kütleden malzeme eksiltmek suretiyle nihai ürüne gitme metodunun hakim olduğu imalat faaliyetlerinin yanında birim malzemenin katman katman birbiri üzerine yığılarak ürünü oluşturduğu eklemeli imalat prosesleri, etkileyici fırsatlar ve kabiliyetler sunan bir imalat metodu olarak dikkat çekmiştir. Geleneksel metotlar yanında çok daha yeni bir imalat teknolojisi olan eklemeli imalat; başlangıçta imalat prosesinde kullandığı yüksek teknoloji sebebiyle ekonomik olarak geleneksel metotlar ile rekabet etmekten uzak olsa da, teknolojiye her geçen gün gerçekleşen gelişmeler sonucu sunduğu eşsiz tasarım ve imalat kabiliyetleri sayesinde, kullanıcılar için önemli bir imalat opsiyonu olmuştur. Başlangıçta hızlı prototipleme uygulamaları ile sınırlı olan eklemeli imalat uygulamalarının kapsamı; günümüzde sağlık, otomotiv, havacılık, savunma, inşaat, moda ve hobi gibi birbirinden farklı pek çok sektöre genişlemiştir.

Eklemeli imalat teknolojilerini daha iyi algılamak ve imalat uygulamalarındaki önemini, bugünkü yerini ve gelecekteki muhtemel konumunu algılayabilmek için üzerinde durulması gereken önemli noktalardan biri proses mantığı ve kullandığı teknolojilerdir. Örnek olarak 5 eksenli robot kontrollü kurulum(setup) yapabilen, bitmiş ürünü belirlenen şekilde stoklayabilen bir CNC tezgahın yaptığı işin temel mantığı ile ağaç dalını taş ile yontmak suretiyle ürettiği mızraklarını bambu kasesine istifleyen ilkel insanın gerçekleştirdiği işin temel mantığı aynıdır. Örnek gösterilen talaşlı imalat metotları ve imalat metotlarındaki pek çok gelişim, temel imalat metodu felsefesi değişmeksizin yalnızca yöntemlerinde gerçekleştirdiği iyileştirmeler ile gelişimini sürdürmüştür; daha hızlı, daha kararlı, daha verimli ve çok daha kabiliyetli imalat metotları haline almıştır. Bu kapsamda geleneksel metotlar, ilkeleri ile veya geçmiş ile kıyaslanamayacak noktalara doğru gelişimini sürdürse de geçmişte bir yerlerde aşına olunan izler taşınması, teknik avantajlarının yanında popülerleşmesi ve popülerliğini sürdürmesini destekleyen genetik bir aşinalığın da sonucudur. Eklemeli imalat metotları ise kullandığı teknolojiler (lazer, elektron ışını, UV gibi) ve vadettiği son ürünler ile insanlar için geleneksel metotlar kadar tanıdık bir teknoloji

değildir. Bu kapsamda eklemeli imalat teknolojilerinin popülerleşmesinde, imalat kabiliyetleri ve sağladığı tasarım esnekliğinin yanında; teknolojinin sağladığı olanak ve fırsatların kullanıcılara etkili bir şekilde aktarılması ve özümsetilmesi konuları da önemlidir.

Üretim süreçlerinde eklemeli imalat proseslerinin avantajlarından yararlanmada önemli bir konu malzeme seçimi ve tasarım yaklaşımlarıdır. Geleneksel tasarım yaklaşımları ile tasarlanan parça geometrileri yaygın olarak prizmatik geometriler ve yüksek karmaşıklık içermeyen yüzey geometrileri içerir. Bu tarz geometrili ürünlerin geleneksel metotlar ile üretimi, eklemeli imalat ile üretime göre zaman ve maddi açıdan daha avantajlı bir opsiyondur. Eklemeli imalat teknolojilerinin popülerleşmesi ve pek çok uygulamada ilk imalat prosesi olarak ortaya çıkmaya başlaması da imalat teknolojilerine yönelik üstün kabiliyetli malzemelerin ve üretilebilirlik sınırlarını zorlayan imalat kabiliyetlerinin, süregelen tasarım ve montaj alışkanlıklarını kökünden değiştirerek kendi kurallarını ortaya koyması sonucu başlamıştır.

Katmanların birbiri üzerine yığılması metodu ile gerçekleşen imalat; tozlardan veya filament ipliklerinden oluşan birim bazlı malzemeye istenilen nihai ürün özelliklerinin kazandırılmasında daha kolay bir müdahale alanı sunar. Buna ek olarak eklemeli imalat teknolojileri üretimde, kalıp, fikstür, kesici takım gibi ek imalat unsurları ve bu unsurların geometrik sınırlamalarından bağımsız şekilde üretim yapmasından dolayı, alışlagelmiş prizmatik tasarımların yanında hafiflik ve rijitlik gibi özelliklerin geliştirilebildiği organik geometrilerin tasarlanmasını mümkün kılmıştır. Üstün özellikli malzemeleri ve geleneksel metotların kısıtlamalarından sıyrılmış, çalışma koşulları-performans odağındaki organik geometrili tasarımlar ile imalat opsiyonu olarak daha adil şekilde değerlendirilebileceği zemini kendisi inşa etmiştir.

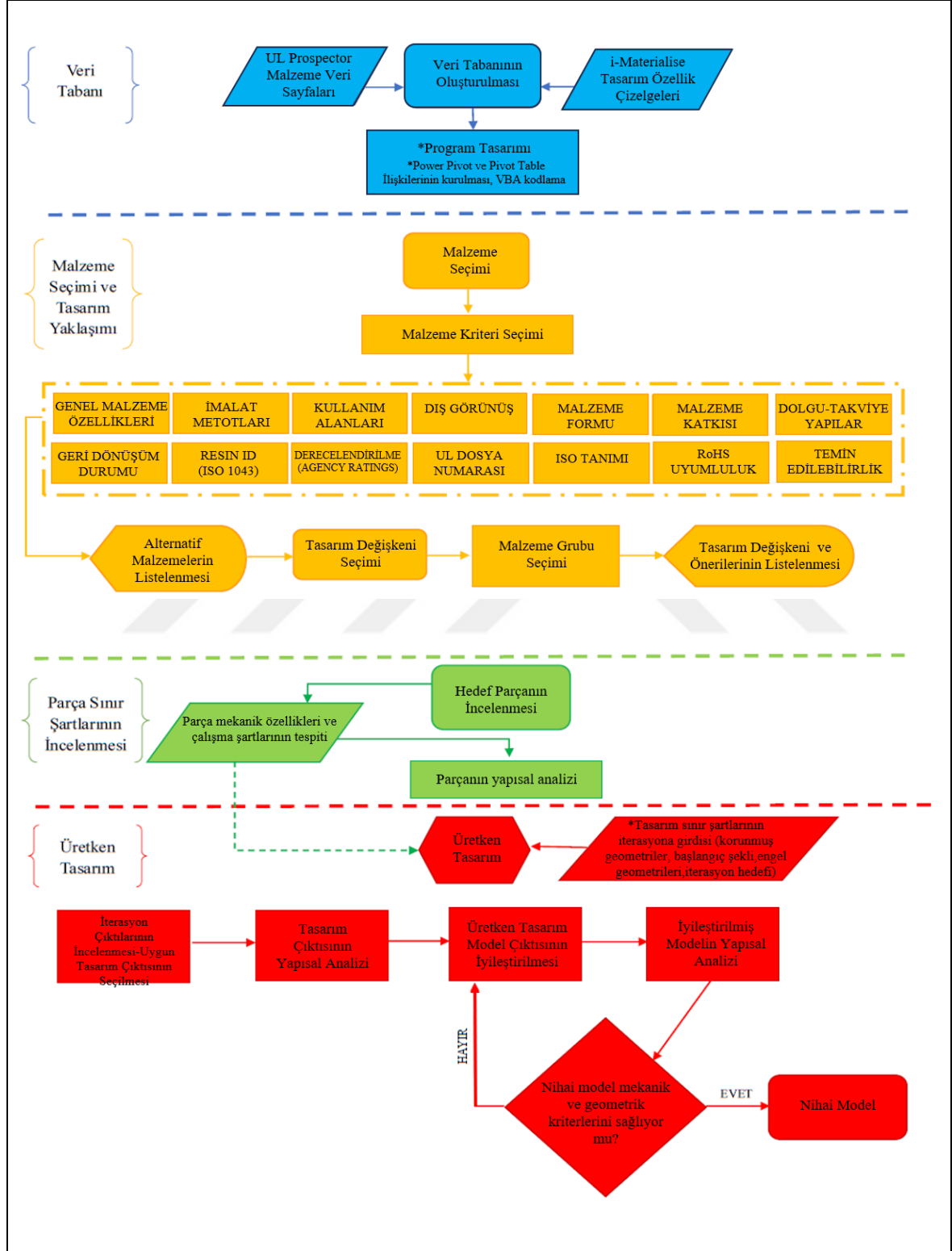
Önceki kısımlarda da belirtildiği üzere eklemeli imalat teknolojileri, geleneksel imalat metotlarından farklı malzeme seçenekleri, tasarım ve montaj yaklaşımları içermektedir. Eklemeli imalatın sahip olduğu üstün olanaklar ve esneklikten maksimum şekilde yararlanmanın şartı eklemeli imalata yönelik gerçekleştirilecek çalışmalarda bu öncüllerin dikkate alınmasıdır. Hızla gelişen ve gün geçtikçe kapsamına yeni teknolojiler ekleyen bu imalat metodunun kullanıcılar arasında yaygınlaşması; teknolojiden, mühendislik ve ekonomik açıdan, en üstün verimin alınması noktasında bir başlangıç rehberi ihtiyacı açıktır. Bu sayede eklemeli imalat teknolojilerinin kabiliyet ve olanaklarını daha iyi kavrayan

kullanıcılar, geleneksel malzeme ve tasarım kriterleri kadar hakim olmadıkları bu imalat teknolojisi için daha uygun çalışmalar ortaya koyabilecektir.

Bu tez çalışmasının amacı; eklemeli imalat teknolojileri ile üretilecek parçalar veya daha önce geleneksel imalat metotları ile üretilen parçalar için eklemeli imalata yönelik malzeme seçimi ve sonrasında gerçekleştirilecek tasarım faaliyetleri için bir başlangıç rehberi sunabilmek; buna ek olarak geleneksel imalat metotları için gerçekleştirilen tasarım iyileştirmeleri kapsamındaki yapısal optimizasyonların da ötesinde, parçanın çalışma koşulları, malzemesi, imalat kurulumu(setup) ve tasarım hedefleri gibi pek çok doneyi hesaba katmak suretiyle iteratif bir tasarım fırsatı sunan “üretken tasarım” metodu ile normalde geleneksel metotlar ile üretilen bir parça tasarımının eklemeli imalatla üretim için modernize edilerek ilk ve nihai tasarımın performanslarının karşılaştırılması yoluyla eklemeli imalat yöntemlerinin sağladığı tasarım esnekliğinin avantajlarının araştırılmasıdır.

Bu tez çalışmasında; ilk kısımda eklemeli imalat teknolojisinin genel kapsamı, metotları, sunduğu olanaklar ve içerdiği kısıtlamaların aktarılması ile konuya genel bir perspektiften yaklaşılmıştır. İlerleyen kısımda eklemeli imalat prosesleri için iki önemli konu malzeme seçimi ve tasarım yaklaşımı konuları üzerine yoğunlaşmıştır. Eklemeli imalata yönelik malzeme seçim metotları ve eklemeli imalata yönelik tasarımda kullanılan metot ve yaklaşımlar literatürdeki örnek çalışmalar ile aktarılmıştır. Çalışma kapsamında eklemeli imalat yöntemleri ile üretilecek parçalar için malzeme seçimi ve eklemeli imalata yönelik tasarım süreçlerinde üretilebilir geometrilerin tasarlanması noktasında sık tercih edilen tasarım sınır şartlarının sunulduğu Eklemeli İmalat Rehberi-Additive Manufacturing Guide (AM Guide) ismi verilen yazılımının metodolojisi, hazırlık süreci ve eklemeli imalata yönelik tasarım çalışmalarında nasıl kullanılacağı ile ilgili bilgiler paylaşılmıştır. Sonraki kısımda hali hazırda geleneksel metotlar ile üretilmekte olan bir çan krank (belcrank) parçası için parça gereksinimleri çerçevesinde malzeme seçimi yapılmıştır. Parça, tasarımın erken süreçlerinde tasarlanacak parçanın çalışma koşulları ve performans kriterleri ekseninde iteratif bir tasarım yöntemi olan “üretken tasarım” yaklaşımı kullanılarak gereksinimler ve tasarım hedefleri doğrultusunda tekrar tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen yapısal analiz çalışmaları ile modernize edilen parça geometrisi ve yazılım üzerinden seçilen malzemelerin performans çıktıları incelenmiş, eklemeli imalata yönelik gerçekleştirilen tasarım modernizasyonu sonucu elde edilen parça tasarımı ile geleneksel metotlara göre tasarlanmış

parçanın özellik ve performans karşılaştırması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın akış şeması Şekil 1.1'deki gibidir:



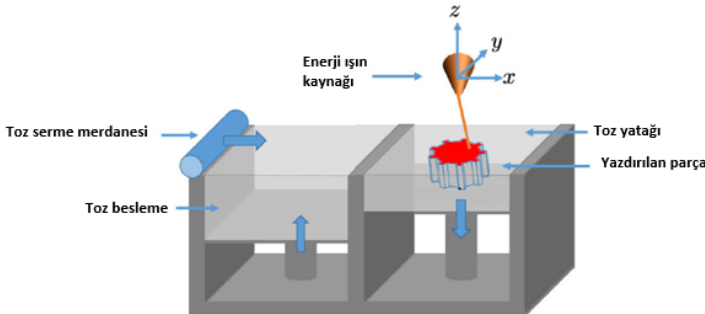
Şekil 1.1. Çalışmanın akış şeması

2. EKLEMELİ İMALAT TEKNOLOJİSİ

Geleneksel imalat yöntemleri; talaşlı (frezeleme, tornalama, taşlama vb.) ve talaşsız (döküm, dövme vb.) yöntemler olarak ortaya çıkmaktadır. Geleneksel metotlara ek olarak elektroerezyon, lazer kesim, su jeti ile kesim, ultrasonik işleme metotları gibi alışılmamış imalat metotları da kullanılmaya başlanmıştır [1]. Ürün tasarımlarının karmaşıklığı, üretim proseslerindeki kesici takım, kalıp maliyetleri ve ham malzeme israfı gibi konulardaki iyileştirme ihtiyaçları, imalat teknolojilerini bu gereksinimlere uygun şekilde gelişmeye yönlendirmiştir. Bu doğrultuda eklemeli imalat teknolojileri ön plana çıkmıştır. Eklemeli imalat yöntemleri geleneksel talaşlı imalat metotlarından farklı olarak malzemenin katmanlar halinde üst üste yığılarak nihai ürünün imal edildiği imalat teknolojileridir [2]. Eklemeli imalat yöntemleri Çizelge 2.1-2.7’ de, ASTM F42 standardında toz yataklı eritme (powder bed fusion), bağlayıcı püskürtme (binder jetting), direkt enerji depolama (directed energy deposition), malzeme ekstrüzyon (material extrusion), malzeme püskürtme (material jetting), plaka tabakalaştırma (sheet lamination process) ve fotopolimerizasyon (photopolymerization) olmak üzere yedi alt başlık altında sınıflandırılmıştır [3]. Bu tez çalışmasında Çizelge 2.1’ de verilen toz yataklı birleştirme prosesi kullanılmıştır.

Toz yataklı birleştirme prosesi

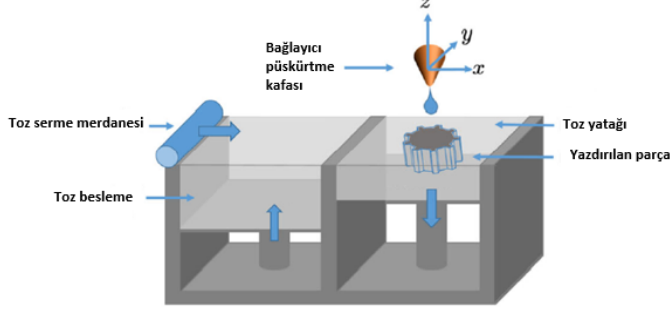
Çizelge 2.1. Toz yataklı birleştirme prosesi [4, 5]



Toz Yataklı Birleştirme Prosesi (Powder Bed Fusion →ASTM Kategorisi:PBF)		
Çalışma Prensibi	Örnek Teknoloji	Avantajları
Isı enerjisi, toz yatağındaki inşa malzemesinin küçük bir bölgesini birleştirir.	* Elektron Işın Ergitme, * Direkt Metal Lazer Sinterleme, * Seçici Lazer Sinterleme/Ergitme	* Nispeten ucuz bir teknolojidir, * Geniş malzeme seçenekleri mevcuttur.
Kısıtlamalar	Malzeme Tipi	Model İnşa Hacmi (mmxmmxmm)
* Nispeten yavaştır, * Yapısal bütünlük eksikliği vardır, * Boyut sınırlamaları mevcuttur, * Yüksek güç gereklidir.	* Polimerler * Seramikler * Kompozitler * Metaller * Hibrit malzemeler	Küçük X=200-300 Y=200-300 Z=200-350

Bağlayıcı püskürtme prosesi

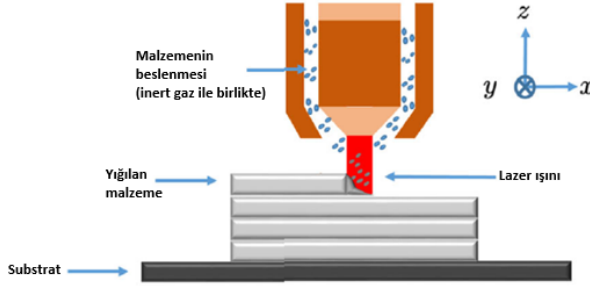
Çizelge 2.2. Yapıştırıcı püskürtme prosesi [4, 5]



Bağlayıcı Püskürtme Prosesi (Binder Jetting →ASTM Kategorisi:BJ)		
Çalışma Prensibi	Örnek Teknoloji	Avantajları
*Parçacıklar birbirine yapıştırılarak katman katman inşa edilir.	*3B mürekkep püskürtme (inkjet) teknolojisi	* Destek/altlık içermez, * Tasarım özgürlüğü sağlar, * Yüksek baskı hızı vardır, * Nispeten düşük maliyetlidir.
Kısıtlamalar	Malzeme Tipi	Model İnşa Hacmi (mmxmmxmm)
* Sınırlı mekanik özelliklere sahip kırılğan parçalar üretilir, * Son işlem gerektirebilir.	* Polimerler * Seramikler * Kompozitler * Metaller * Hibrit malzemeler	Çok yönlü (küçükten büyüğe) X=<4000 Y=<2000 Z=<1000

Direkt enerji biriktirme

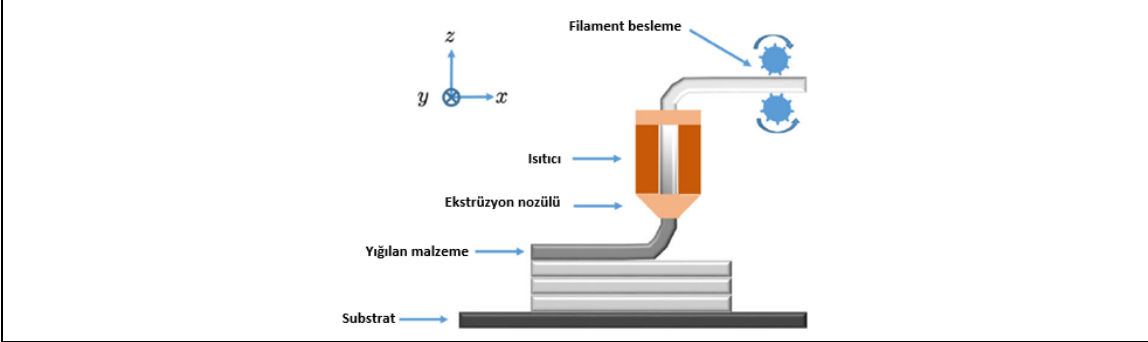
Çizelge 2.3. Direkt enerji biriktirme [4, 5]



Direkt Enerji Biriktirme Prosesi (Directed Energy Deposition →ASTM Kategorisi:DED)		
Çalışma Prensibi	Örnek Teknoloji	Avantajları
Odaklanmış ısı enerjisi biriktirme esnasında malzemeleri eritir.	* Lazer Biriktirme, * Lazer Şekillendirme, * Elektron Işını, * Plazma Ark Ergitme.	* Tane yapısının yüksek derecede kontrolü mümkündür, * Yüksek kaliteli parçalar üretilebilir.
Kısıtlamalar	Malzeme Tipi	Model İnşa Hacmi (mmxmmxmm)
* Yüzey kalitesi düşüktür, * Metaller/metal tabanlı hibrit malzemelerle sınırlıdır.	* Metaller * Hibrit malzemeler	Çok yönlü X=600-3000 Y=500-3500 Z=350-5000

Malzeme ekstrüzyonu prosesi

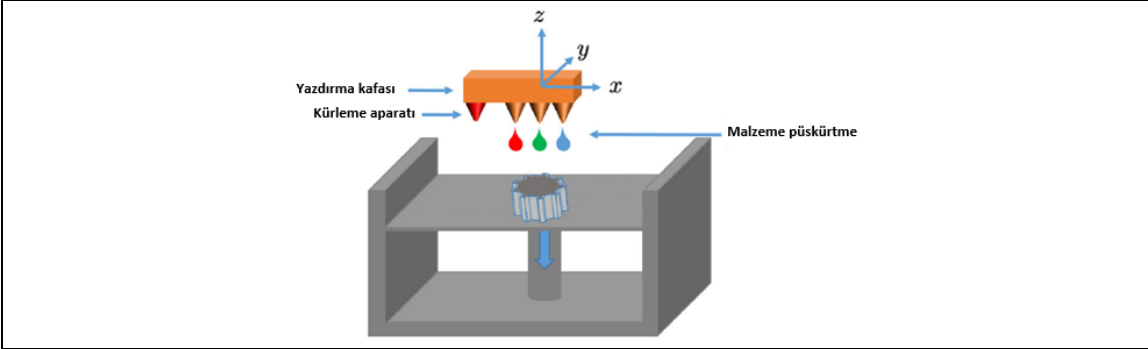
Çizelge 2.4. Malzeme ekstrüzyonu prosesi [4, 5]



Malzeme Ekstrüzyonu Prosesi (Material Extrusion →ASTM Kategorisi:ME)		
Çalışma Prensibi	Örnek Teknoloji	Avantajları
Malzeme, seçici olarak bir nozül veya orifisten (ağız) dışarı itilir.	* Ergiyik Yığıma Modelleme, * Ergiyik Filament Fabrikasyonu, * Ergiyik Katman Modelleme.	* Yaygın kullanımlıdır, * Ucuzdur, * Tamamen işlevsel parçalar oluşturabilir.
Kısıtlamalar	Malzeme Tipi	Model İnşa Hacmi (mmxmmxmm)
* Basamaklı yüzey oluşturur, * Ayrıntılar için uygun değildir.	* Polimerler * Kompozitler	Küçükten ortaya X=<900 Y=<600 Z=<900

Malzeme püskürtme prosesi

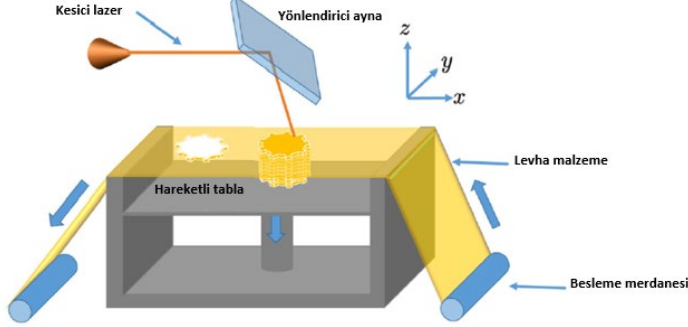
Çizelge 2.5. Malzeme püskürtme prosesi [4, 5]



Malzeme Püskürtme Prosesi (Material Jetting →ASTM Kategorisi:MJ)		
Çalışma Prensibi	Örnek Teknoloji	Avantajları
İnşa malzemesinin damlacıkları biriktirilir.	* 3B inkjet teknolojisi, * Direkt Mürekkep Yazdırma (Direct Ink Writing)	* Yüksek damlacık biriktirme doğruluğu vardır, * Düşük atık oluşturur, * Çoklu malzeme parçaları üretilebilir, * Çok renkli parçalar üretilebilir.
Kısıtlamalar	Malzeme Tipi	Model İnşa Hacmi (mmxmmxmm)
* Destek malzemesi gereklidir, * Fotopolimerler ve termoset reçineler gereklidir.	* Polimerler * Seramikler * Kompozitler * Hibrit malzemeler * Biyolojik malzemeler	Küçük X=<300 Y=<200 Z=<200

Plaka tabakalaştırma prosesi

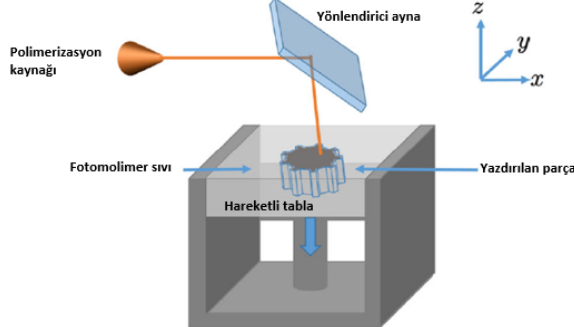
Çizelge 2.6. Plaka tabakalaştırma prosesi [4, 5]



Plaka Tabakalaştırma Prosesi (Sheet Lamination →ASTM Kategorisi:SL)		
Çalışma Prensibi	Örnek Teknoloji	Avantajları
Malzemelerin sac/folyoları yapıştırılmıştır.	* Tabakalı Malzeme Üretimi, * Ultrasonik Birleştirme /Ultrasonik Eklemeli İmalat	* Hızı yüksektir, * Düşük maliyetlidir, * Malzeme taşıma kolaylığı vardır.
Kısıtlamalar	Malzeme Tipi	Model İnşa Hacmi (mmxmmxmm)
* İşlem sonrası son işlemler gerekebilir, * Sınırlı malzeme kullanılabilir	* Polimerler * Seramikler * Metaller * Hibrit malzemeler	Küçük X=150-250 Y=200 Z=100-150

Havuz fotopolimerizasyonu prosesi

Çizelge 2.7. Havuz fotopolimerizasyonu prosesi [4, 5]



Havuz Fotopolimerizasyonu Prosesi (Vat Photopolymerization →ASTM Kategorisi:VP)		
Çalışma Prensibi	Örnek Teknoloji	Avantajları
Bir havuzdaki sıvı polimer ışıkla sertleştirilir.	* SLA, * Dijital Işık İşleme.	* Büyük boyutlu parçalar üretilebilir, * Mükemmel boyutsal hassasiyet sağlar, * Mükemmel yüzey ve detaylar sağlar.
Kısıtlamalar	Malzeme Tipi	Model İnşa Hacmi (mmxmmxmm)
* Sadece fotopolimerlerle sınırlıdır, * İnşa işlemi yavaştır, * Pahalı bir yöntemdir. * Fotopolimerlerin düşük mekanik özellikleri vardır.	* Polimerler * Seramikler	Orta X<2100 Y<700 Z<800

2.1. Eklemeli İmalat Yöntemlerinin Sunduğu Olanaklar ve İçerdiği Kısıtlamalar

Eklemeli imalat metotları; her geçen gün genişleyen malzeme gamı, üretim teknolojileri ve ortaya koyduğu son ürünler ile imalat yöntemleri arasında önemli bir alternatif hatta pek çok yeni uygulama için birincil imalat opsiyonu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu başlık altında eklemeli imalat proseslerinin olanak ve kısıtlamaları öne çıkan başlıkları ile aktarılacaktır.

2.1.1. Eklemeli imalat yöntemlerinin sunduğu olanaklar

Organik formlu tasarımların imalatı

Eklemeli imalat prosesleri tasarlanan ürünlerin kesici takım veya kalıp geometrisi gibi faktörlerle sınırlanmaksızın imal edilebilmesine olanak tanıdığından organik geometrili ürünlerin imalatı bu yöntemlerle mümkündür [6]. Resim 2.1' de eklemeli imalat prosesleri ile üretilmek üzere tasarım modernizasyonu yapılan bir uçak parçası paylaşılmıştır.



Resim 2.1. Eklemeli imalat ile üretilmek üzere modernize edilmiş bir uçak parçası [6]

Parça konsolidasyonu

Eklemeli imalat prosesleri pek çok alt parçadan oluşan montaj komplekslerinin tek seferde imal edilebilmesine imkân sağlamaktadır. Bu sayede montaj operasyonları için harcanan sürenin minimize edilmesi, komponent ve bağlantı elemanı maliyetlerinin düşürülmesi sağlanabilmektedir [7]. Örnek bir uygulama olarak Boeing 787 uçağında 15 alt parçadan oluşan hava manifoldu (air duct) parçası tek bir kompleks tasarım olarak lazer sinterleme metodu ile üretilmiştir [6].

Ağırlık azaltma

Eklemeli imalat teknolojileri, sağladığı esnek imalat kabiliyetiyle tasarımcılara oldukça geniş bir tasarım özgürlüğü sunmaktadır. Bu sayede kütle minimizasyonu yapılabilecek optimum tasarımların üretilmesi mümkün kılınmaktadır. Thogus firması modernize ettiği çekme zinciri (drag chain) tasarımını eklemeli imalat metodu ile üreterek ağırlığını %70 oranında azaltmayı başarmıştır [6].

Kişiselleştirilebilir ürünler

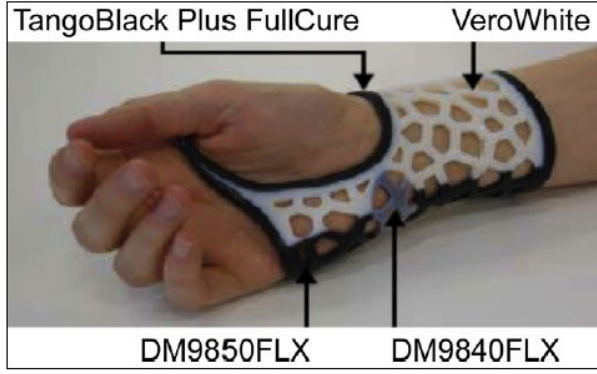
Özellikle sağlık alanında kişiye özgü protez tasarımı ve imalatı oldukça hassas ve kritiktir. Eklemeli imalat teknolojileri sunduğu üretim kabiliyeti sayesinde kişiye özel tasarlanan organik protez tasarımlarının imalatı (Resim 2.2) mümkün kılınmıştır [6].



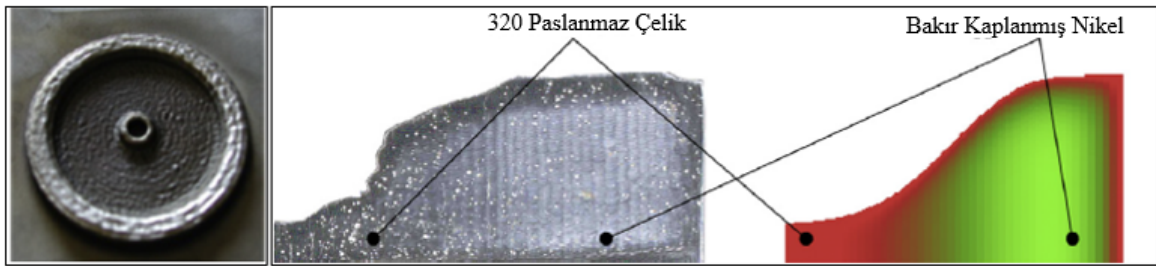
Resim 2.2. Eklemeli imalat ile üretilmiş protezler [7]

Multi-malzemeli ve kademeli malzemeli üretim

Eklemeli imalat teknolojileri, imal edilen parçanın farklı bölgelerinde farklı özellik ve görünümdeki malzemelerin kullanılmasına olanak tanır. Parçanın farklı bölgelerinde farklı özellik ve türdeki malzemeler kullanılabileceği gibi parça kesitinde kademeli olarak farklı malzemelerin kullanımı da mümkündür [7]. Resim 2. 3 ve Resim 2. 4' te örnek uygulamalar aktarılmıştır.



Resim 2.3. El protezinde dört farklı malzemeden oluşan bir el protezi [7]



Resim 2.4. Kademeli olarak eklemeli imalat ile üretilen volan parçası [7]

2.1.2. Eklemeli imalat yöntemlerinin içerdiği kısıtlamalar

Tasarım yazılımları ile ilgili kısıtlamalar

Mevcut tasarım yazılımları ile eklemeli imalata yönelik tasarımlar gerçekleştirmek oldukça zordur. Zira mevcut CAD programlarının büyük bir kısmı parametrik NURBS (Non-uniform Rational Basis Spline (Düzgün Olmayan Rasyonel Temelli Eğri)) sistemlerine dayanmaktadır. Bu sistemler, geleneksel üretim prosesleriyle ilişkilendirilen modelleme geometrileri için uygun olsa da daha organik formlu tasarımlar ve eklemeli imalata yönelik karmaşık, çok ölçekli tasarımlar için yetersiz kalmaktadır [7].

Proses özellikleri ve makine yeteneklerinden kaynaklanan kısıtlamalar

Eklemeli imalat prosesinin gerçekleştirileceği makinenin minimum inşa çözünürlüğü (minimum build resolution: x, y, z için), seçim yapılabilen diğer çözünürlük opsiyonları, makinede üretilebilecek maksimum yapı boyutları (x, y, z için) ve daha pek çok değiştirilebilen parametre tasarım sürecine belli kısıtlamalar getirir. Ayrıca, imalatta kullanılan makinenin yetenekleri ve performansı; parçanın çarpıklığı, büzülmesi ve

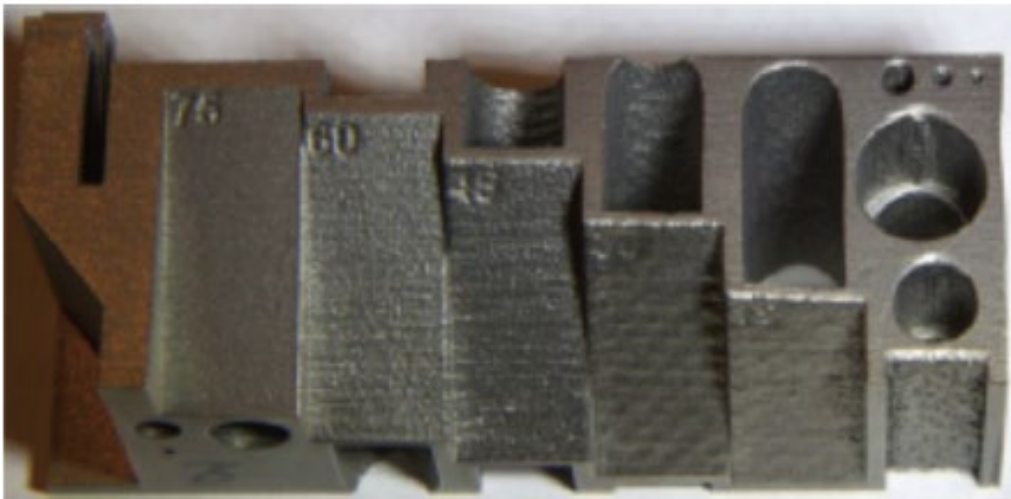
doğruluğu üzerinde etki yaparak boyutsal kararlılık ve yüzey pürüzlülüğü gibi son ürün performansını belirler [7].

Üretim sırasında destek yapılara duyulan ihtiyaç

Parça, model seviyelerinin katman katman oluşturulması sürecinde çeşitli mekanik etkilere maruz kalır. Tasarımcılar parçayı maksimum dayanım seviyesini koruyacak oryantasyonda modeller, parçaya destek yapılar ekleyerek ya da kendi geometrisinden yararlanacak şekilde tasarlamak suretiyle bu mekanik etkileri sönmlemeye çalışır. Bu destek yapıların imalat sonrası temizlenebilmesi yahut modelden uzaklaştırılabilmesi için uygun konum ve şekilde tasarlanması gerekliliği gibi konular, parça modeli oluşturma aşamasında tasarıma ek kısıtlamalar getirmektedir [7].

Katmanlı yapının ve oryantasyonun yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Eklemeli imalat ile gerçekleştirilen tasarımlarda imalat prosesinin katman katman gerçekleştirilen bir proses olması sebebiyle katman sınırları nadiren kesintisiz düzgünlükte görülür. Eklemeli imalat ile gerçekleştirilen imalat proseslerinde farklı yığıma açılarında farklı yüzey pürüzlülükleri ile karşılaşmaktadır [7]. Resim 2.5' te eklemeli imalatta yığıma açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi SLM ile üretilmiş bir parça üzerinde gösterilmiştir.



Resim 2.5. SLM metodunda farklı açılar ile inşa edilen yapılarda yüzey pürüzlülüğü [7]

Ulaşılabilen tolerans değerleri

Konvansiyonel imalat metotları, eklemeli imalat metotlarına göre dar toleranslı son ürün verme konusunda daha üstün sonuçlar ortaya koymaktadır. Ancak, eklemeli imalat prosesleri sonrasında istenilen yüzey kalitesini elde edebilmek için çeşitli ikincil işlemlere başvurulmaktadır [7].

2.2. Eklemeli İmalata Yönelik Tasarımda Malzeme Seçim Metotları

Eklemeli imalat proseslerinde kullanılan malzemeler, malzemenin kullanıldığı imalat platformu ile doğrudan ilişkilidir. Farklı eklemeli imalat prosesleri için özelleşmiş pek çok malzeme mevcuttur [8]. Yaklaşık 80000 mühendislik malzemesi ve 1000 farklı imalat prosesi içerisinde 44 farklı teknoloji platformunda 12 farklı eklemeli imalat teknolojisinde kullanılan 135 malzeme çeşidi mevcuttur [9]. Geleneksel eklemeli imalat malzemeleri metalik katkılı süper alaşımlar, polimerler ve kompozitler, seramikler olmak üzere 3 ana grupta incelenir. Bu üç temel gruba ek olarak farklı malzemelerin kombine edilerek arzu edilen özellikleri barındıran nihai malzemelerin oluşturulduğu akıllı malzemeler ve elektronik malzemeler de mevcuttur [10]. Geleneksel imalat metotları ile kıyaslandığında eklemeli imalat proseslerinde kullanılabilen üretim platformları ve malzeme çeşitliliği, gelişmekte olan yeni bir teknoloji olduğundan daha azdır [8]. Eklemeli imalat teknolojilerinde kullanılacak malzemeler konusunda gelişmeler olduğu halde, optimum malzeme seçimi uygulamaları hakkında araştırma ihtiyacı mevcuttur [11]. Eklemeli imalat platformları ve proseslerde kullanılan malzemeler ile ilgili bilgilerde eksikler ve araştırılması gereken konular mevcuttur. Buradan çıkarılabilecek sonuç, eklemeli imalat proseslerinde kullanılan malzemeler için tüm malzeme özelliklerinin mevcut olmadığıdır. Tüm bu faktörler malzeme seçimi aşamasında kurgulanan nümerik sistemler için bir dezavantaj oluşturmaktadır. Malzeme seçim yaklaşımlarının tutarlı nihai sonuçlar vermesi için ihtiyaç duyduğu ana faktör malzeme özelliklerini içeren kapsamlı bir veri tabanıdır [8].

Malzeme seçiminin 4 temel basamağı:



Şekil 2.1. Malzeme seçiminde temel basamaklar [8]

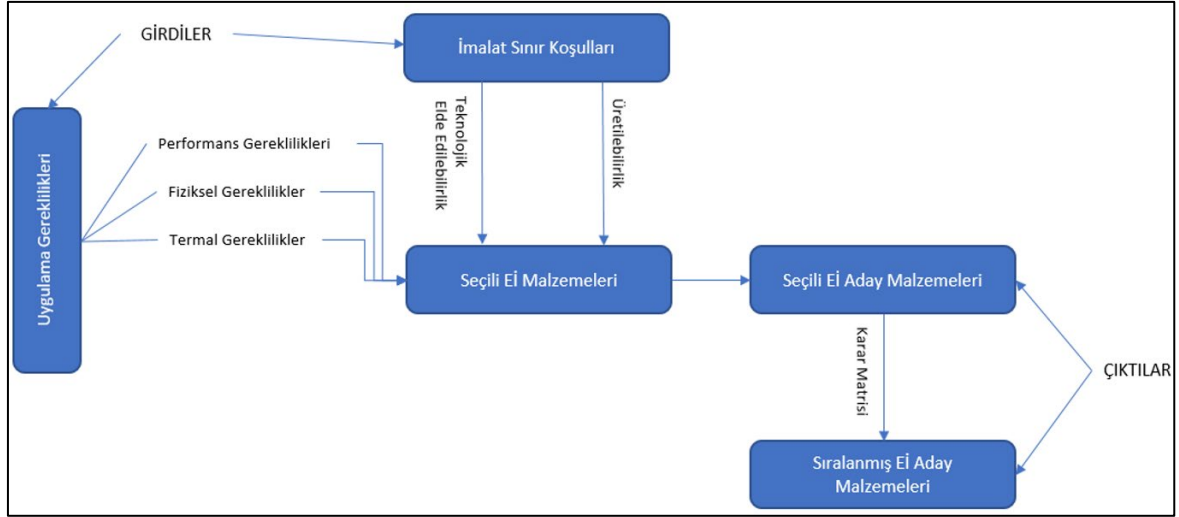
Malzeme seçimi ile ilgili araştırmacıların önerdiği başlıca yaklaşımlar aşağıdaki gibidir:

Armillo, malzeme seçiminde, ampirik karşılaştırmaların sayısal ağırlıklı değerlere dönüştürülerek karar vermek için kullanılan çok kriterli bir karar verme sistemi olan analitik hiyerarşi prosesi (AHP) önermiştir [12].

Smith ve Rennie, malzeme seçim aşamasının tasarımın erken safhalarında yapıldığı, serbest arama yöntemi ve durum tabanlı çıkarsama metodlarını içeren bilgisayar destekli bir malzeme seçim yaklaşımı önermiştir [8].

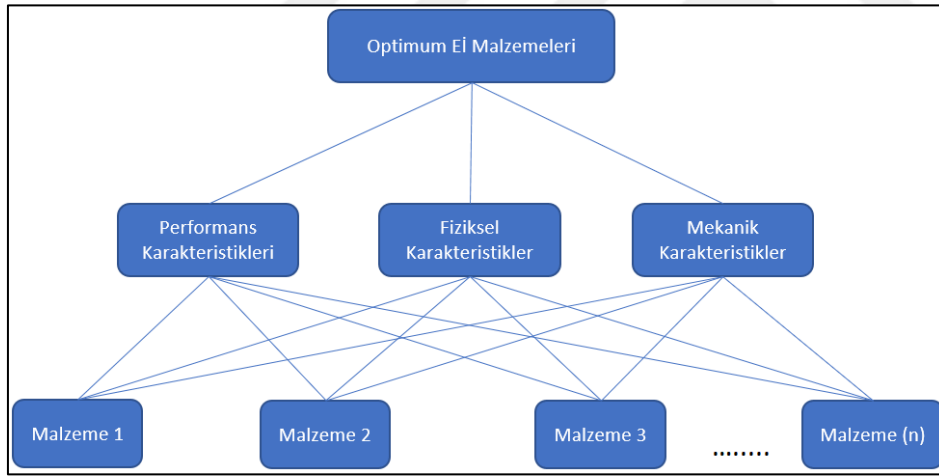
Zaman, belirli bir ürün için malzeme ve makine seçmeyi amaçlayan daha derin bir metodoloji tanıtmıştır. Metodoloji, üç basamaktan oluşmaktadır: ürün gereksinimlerinin tespiti, gereksinimleri sağlayan aday malzemelerin gözden geçirilmesi ve aday malzemelerin gereksinimler kapsamında puanlanmasıdır [13].

Alghamdy, M., Ahmad, R., ve Alsayed, B., eklemeli imalat prosesi için malzeme seçimi metodolojisinde çalışma koşulları/sınır şartları ve imalat sınır şartları girdileri çerçevesinde analitik hiyerarşi prosesi (AHP) kullanılarak aday malzeme seçimi ve belirlenen karar matrisi değerlendirmesine göre puanlanmış aday malzeme listesi sunan bir yaklaşım önermiştir (Şekil 2.2) [11].



Şekil 2.2. Önerilen metodoloji [11]

Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) malzeme seçim aşamasında aşağıdaki şekilde çalışır (Şekil 2.3):



Şekil 2.3. AHP metodolojisi [11]

Literatürde güncel olarak üç malzeme seçim yaklaşımı öne çıkmaktadır. Bunlar serbest arama, anket tabanlı seçim ve durum tabanlı değerlendirme yaklaşımlarıdır [8].

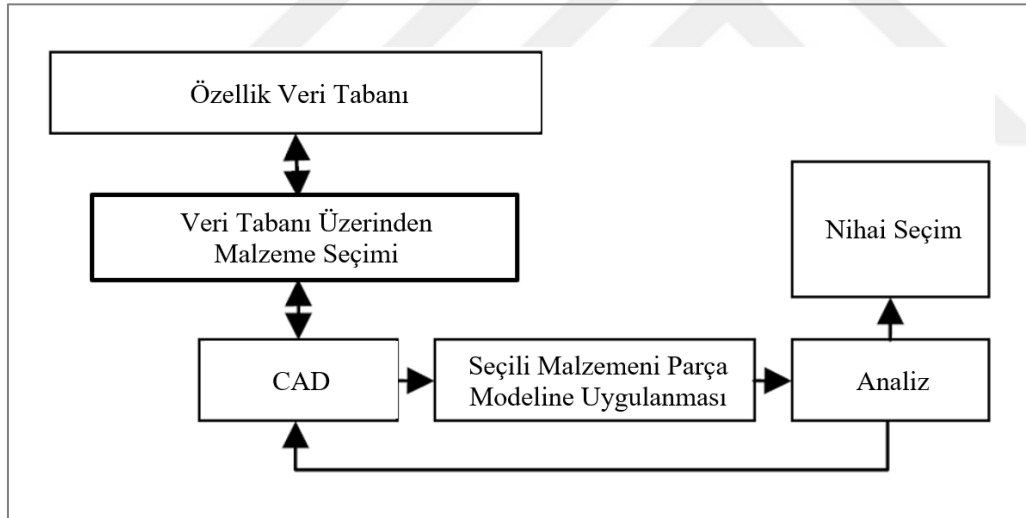
Serbest arama yaklaşımı; tasarımcılara başlangıçta kullanabilecekleri tüm malzemeleri sunan, nitel girdilerle malzeme seçimi sağlayan bir yaklaşımdır. Tutarlı nihai sonuçlar elde etmek için, gereksinimleri tanımlayan verilerin ayrıntılı bir şekilde girilmesi gerekmektedir [8].

Anket tabanlı seçimde, tasarımcıya malzeme seçiminde rehberlik eden bir dizi soru yöneltilir. Tasarımcı, sorulara verdiği cevaplar sonucunda aday malzemelere ulaşır. Anket tabanlı metot, malzeme seçimi aşamasında yönlendirici olmasına rağmen, sistem tarafından sunulan malzeme öneri kapsamı, anket soruları çerçevesinde sınırlıdır. Ayrıca ilerleyen süreçte sisteme yeni malzemeleri entegre etmek zordur [8].

Durum tabanlı değerlendirme, yeni bir problem veya talep için benzer durum ve talepleri içeren bir veri tabanı üzerinden anahtar kelimelerle indeksleme yaparak sonuca ulaşma yöntemidir [8].

Paul Smith ve Allan Rennie bilgisayar destekli malzeme seçimi için aşağıdaki iki yaklaşımı önermiştir (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5):

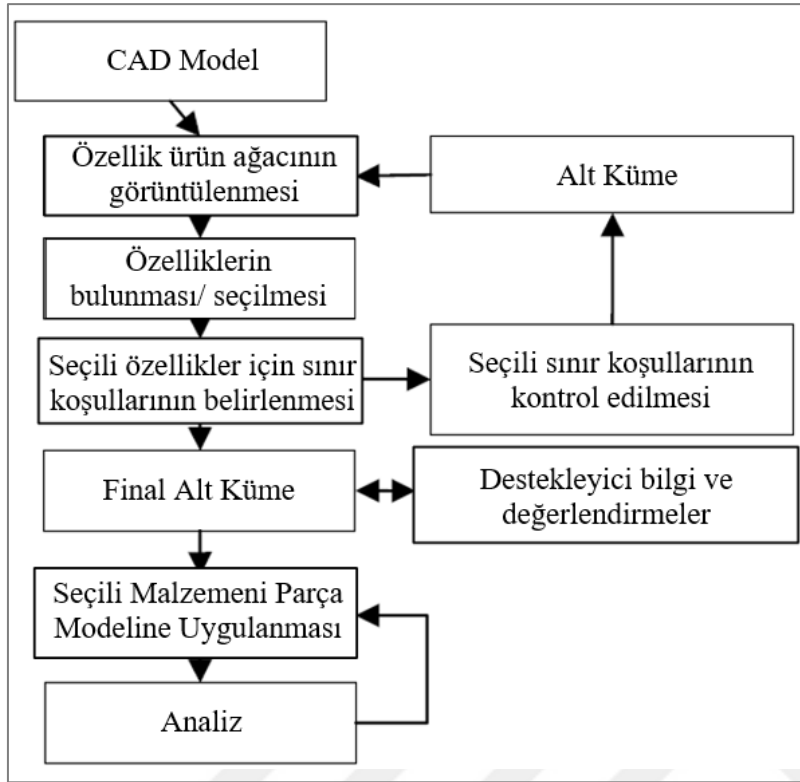
Metot-1:



Şekil 2.4. Metot 1 akış şeması [8]

Bu metot, eklemeli imalat proseslerinde kullanılan malzemelerden oluşan bir veri havuzunu CAD yazılımı kütüphanesine entegre eder. Veri tabanındaki malzemelerden yalnızca biri seçilerek parça modeline uygulanır ve parçanın sınır şartları ve çalışma koşulları çerçevesinde analiz işlemine tabi tutulur. Bu uygulama, seçilen aday malzemenin arzu edilen koşulları sağlamasına kadar devam eder. İstenen analiz değerlerine ulaşıldığında, malzeme seçimi gerçekleştirilmiş olur [8].

Metot-2:



Şekil 2.5. Metot 2 akış şeması [8]

Bu metotta tasarımcı, üretmek istediği parça için listelenen özellik ağacı ekranından sınır koşulu koymak istediği özellikleri seçer (örneğin, çekme gerilmesi, ergime noktası, parça boyutları vb.), daha sonra seçtiği özellikler için sınır koşullarını belirler. Yazılım, iteratif olarak sınır koşullarının belirlediği bir kural fonksiyonuna göre malzeme ve proses veri tabanından aday malzeme ve proses alt kümesini oluşturur. Tasarımcı, yazılımın sunduğu aday alt kümesini tecrübeye ve durum bazlı değerlendirmeye dayalı destekleyici verilerle değerlendirir ve nihai aday alt kümesini oluşturur. Alt kümedeki malzeme ve prosesler parça geometrisine atanarak analiz başlatılır ve analiz değerleri istenen sınır koşullarını sağladığında iterasyon durur ve nihai malzeme ve proses seçimi gerçekleştirilmiş olur [8].

Özellikle bu yaklaşımda dikkat çeken bir nokta, eklemeli imalat proseslerinde kullanılan malzemelerin özellikleri hakkında kapsamlı bir veri tabanının henüz ulaşılabilir olmamasıdır. Bu nedenle, malzeme seçimi aşamasında tecrübe ve durum bazlı değerlendirmeye dayalı destekleyici bilgiler çerçevesinde ikinci bir değerlendirme işlemine tabi tutulmasıdır. Elde edilen değerler genellikle seyrek ve dağınıktır. Bu bağlamda, eklemeli

imalat veri tabanlarına dahil edilebilen malzeme özellikleri de sınırlıdır. Sunulan genel malzeme özellikleri çekme mukavemeti, akma mukavemeti, elastik modül ve Poisson oranı gibi özelliklerdir. Bu sebepten doğrudan veri tabanları üzerinden gerçekleştirilen eliminasyon sonrası elde edilen aday alt kümesi üzerinden değerlendirme yapmak yerine, elde edilen aday malzemeleri; parça geometrisi, çalışma koşulları ve belirlenen sınır koşullarına göre destekleyici veriler çerçevesinde değerlendirerek nihai aday malzemeleri tespit edilmektedir [8].

2.3. Eklemeli İmalata Yönelik Modellemede Üretken Tasarım Yaklaşımı

Eklemeli imalat için tasarım çalışmalarında etkin bir yaklaşım olan üretken tasarım, tasarım sürecinin başlangıcında belirlenen hedeflere ve sınır şartlarına odaklanan, yapay zeka temelli bir tasarım yöntemidir. Bu yaklaşım, malzeme, makine, zaman gibi kaynakların daha verimli kullanılmasına olanak tanırken, organik geometrili karmaşık son ürünlerin tasarımını mümkün kılar. [14] Üretken tasarım, birçok teknik alanda hala gelişme aşamasında olsa da 2018'de 111 milyon Amerikan doları seviyelerinde bir pazar değerine ulaşmıştır. Bu, yöntemin potansiyelini ve büyüme kapasitesini göstermektedir [15].

2.3.1. Üretken tasarımın iteratif süreci

Üretken tasarım iterasyonu üç temel fazda gerçekleştirilir:

Erken tasarım süreci

Üretken tasarımın erken sürecinde, tasarlanan parçanın çalışma koşulları (yüklerle maruz kalma, sınır şartları, emniyet katsayısı vb.) belirlenir. Aynı zamanda tasarım hedefleri ve tercih edilen üretim metodu tanımlanır [16].

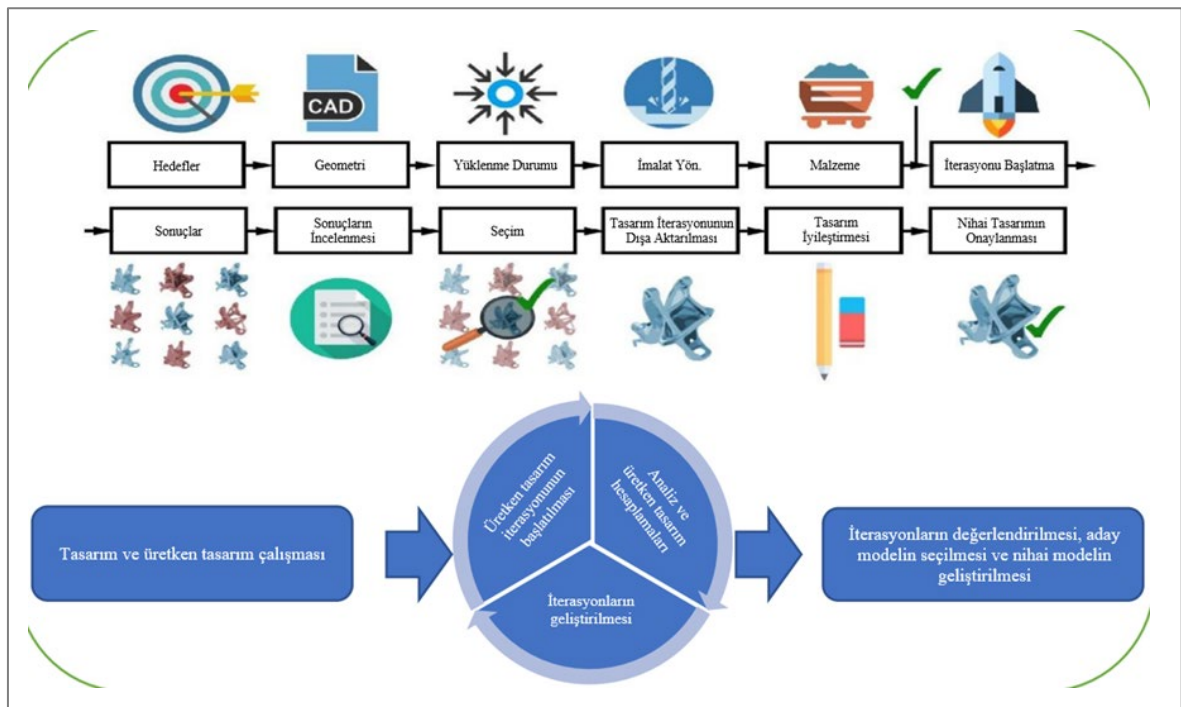
Tasarım iterasyonunun başlatılması

Üretken tasarımın bu safhası, tasarımın iteratif bir süreçle gerçekleştirildiği aşamadır. Tasarım iterasyonları sürekli olarak gözden geçirilir ve iyileştirilir [16].

Tasarım iterasyonu sonrası değerlendirme

Üretken tasarımın bu aşamasında, kullanıcı elde edilen tasarım çıktılarının performanslarını değerlendirir ve nihai model geometrisine karar verir [16].

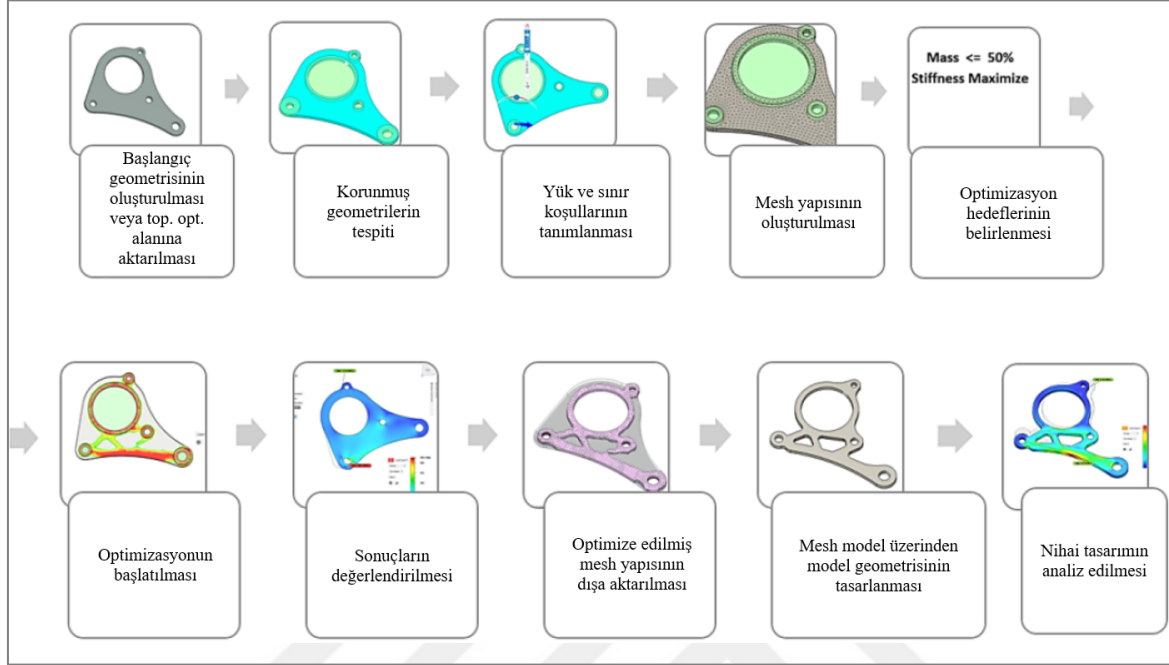
Bu üç temel faz, tasarım sürecinde döngüsel bir yaklaşımı ifade eder. Kullanıcı, her iterasyon sonrasında tasarımını gözden geçirerek daha iyi ve optimize edilmiş sonuçlara ulaşabilir [16]. Üretken tasarım uygulamasının akış şeması Şekil 2.6' da verilmiştir.



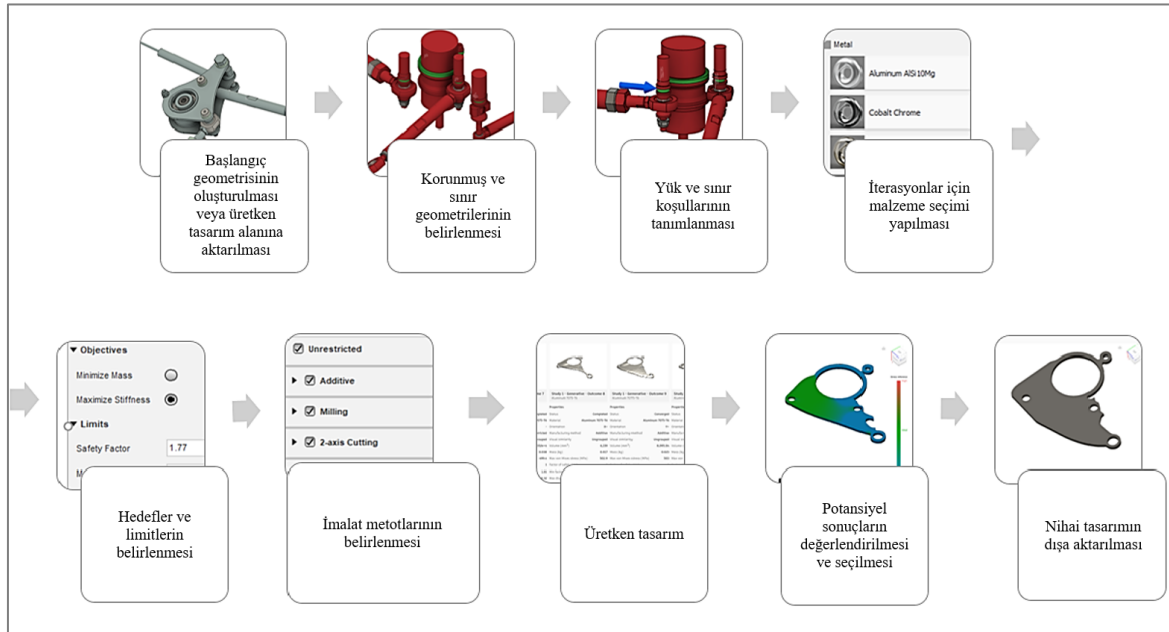
Şekil 2.6. Üretken tasarım akış şeması [17]

Üretken tasarım yaklaşımı sık sık topoloji optimizasyonu ile karıştırılmaktadır. Üretken tasarım ile topoloji optimizasyonu arasındaki ilişki veya farklılık durumunu açıklamak gerekirse; üretken tasarım, tasarımın erken süreçlerini de kapsayan bir tasarım yaklaşımıdır. Tasarım başlangıcında tasarlanmak istenen ürünün performans hedefleri ve sınır koşulları çerçevesinde gerçekleşen iteratif tasarım sonrasında aday tasarım opsiyonlarına erişilir. Topoloji optimizasyonu sonucunda tamamlanmış bir parça modeline erişilemez, optimum sonuca ulaşmak için elde edilen çıktı üzerinden model üretilmesi gerekmektedir. Yapısal optimizasyon yaklaşımlarından biri olan topoloji optimizasyonu, üretken tasarım prosesinin iterasyon sürecini oluşturan parçalardan biridir [18].

Topoloji optimizasyonu ve üretken tasarım yaklaşımının akışı karşılaştırılmalı olarak Şekil 2.7 ve Şekil 2.8' de incelenebilir:



Şekil 2.7. Topoloji optimizasyonu akış diyagramı [18]



Şekil 2.8. Üretken tasarım akış diyagramı [18]

Son on yılda tasarım yazılımlarındaki gelişmeler sayesinde kullanıcıların arzu ettikleri geometrileri tasarlayabilmeleri kolaylaşmıştır [17].

Üretken tasarım araçları; mevcut CAD yazılımları içerisine gömülü modüller şeklinde olduğu gibi yalnızca üretken tasarıma yönelik ürünler şeklinde de sunulmaktadır. Buna ek olarak bazı yazılımlarda üretken tasarım, bilgisayarın kendi sistemi ve işlemcisi üzerinden gerçekleştirilirken, bazı yazılımlar üretken tasarım iterasyonunu bulut sistemi üzerinden gerçekleştirir [14].

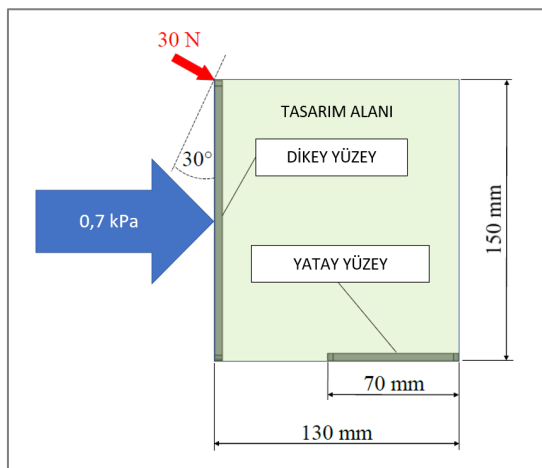
Çizelge 2.8. Üretken tasarım iterasyonu gerçekleştirilebilen CAD yazılımları [14]

Yazılım	Üretici	Menşei	Bağlantı	Depolama
Fusion 360	Autodesk	ABD	Bütünleşik	Bulut Ağı
CogniCAD	ParaMatters	ABD	Uygulama Özel	Lokal
Solid Edge	Siemens	Almanya	Bütünleşik	Lokal
Creo 7.0	PTC	ABD	Bütünleşik	Lokal
MSC Apex	MSC Software	ABD	Uygulama Özel	Lokal
CATIA V6	Dassault Systèmes	Fransa	Bütünleşik	Lokal
NX	Siemens	Almanya	Bütünleşik	Lokal

Bütünleşik: Mevcut tasarım ve analiz programına entegre şekilde sunulur.

Uygulama Özel: Yalnızca üretken tasarım uygulaması yapılan programlar.

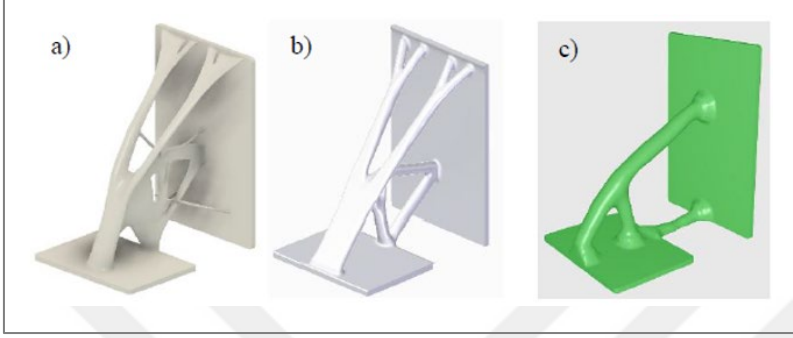
Stefan Junk ve Lukas Burkart çalışmalarında örnek bir kitap tutucu tasarımı için Fusion 360, Solid Edge ve CogniCAD yazılımlarında çalışma gerçekleştirmiş ve sonuçları karşılaştırmıştır. Tasarlanacak parça için emniyet katsayısı 28 ve malzeme ABS olarak belirlenmiştir. Parça için tespit edilen sınır koşulları Şekil 2.9' daki gibidir [14]:



Şekil 2.9. Yüklenme durumu [14]

Farklı yazılımlarda gerçekleştirilen çalışmaların en ideal sonuçları karşılaştırıldığında; Solid Edge ve CogniCAD yazılımlarının üretken tasarım çıktıları ve Fusion 360 yazılımı

tarafından sunulan aday üretken tasarımlar arasından en iyi üretken tasarım sonucunun performansları ve nihai parça geometrileri aşağıdaki gibidir. Üretken tasarım çıktıları arasında en iyi sonuç Fusion 360 ortamında üretilen parça olmuştur. Çalışma çıktılarına ait geometri ve analiz çıktıları aşağıdaki gibidir (Şekil 2.10 ve Çizelge 2.9) [14]:



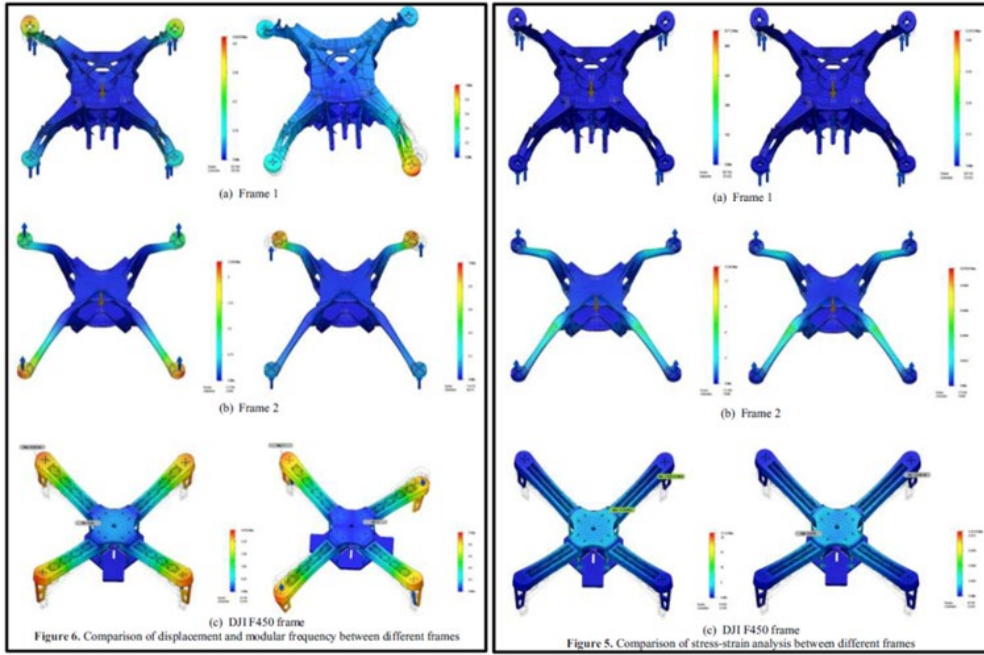
Şekil 2.10. a) Fusion 360, b) Solid Edge, c) CogniCAD [14]

Çizelge 2.9. Farklı yazılımların sonuçları [14]

	Birim	Fusion 360	Solid Edge	CogniCAD
Minimum emniyet faktörü		28,01	28,25	28,41
Stres σ_{max}	MPa	0,7	0,708	0,704
Maksimum yer değiştirme	mm	0,15	n. a.	0,271
Kütle	Gram	129	151	130
Kütle	Percent	100	117	101
Üretilebilirlik		Medium	High	High

Jerrin Bright, R Suryaprakash, S Akash, A Giridharan çalışmalarında; DJI F450 dron şasesi için tasarlanan ABS malzemeli iki alternatif şasi tasarımının Fusion 360 yazılımında üretken tasarım yaklaşımı ile modernize edilip sonuçların karşılaştırılması gerçekleştirmişlerdir.

Üretken tasarım iterasyonları ve DJI F450 dron şasilerinin performans karşılaştırmaları Resim 2.6' daki gibidir [16]:













Factors	Şase-1 (Frame-1)	Şase-2 (Frame-2)	DJI F450 Şase(Frame)
Weight of the frame (g)	227	267	330
Minimum factor of Safety	13.3	133	3.301
Manufacturing Method	Additive Manufacturing ^b	Additive Manufacturing ^b	Advanced manufacturing
Maximum von Mises Stress (MPa)	1.5	17.11	21.33
Maximum Displacement global (mm)	6.22	0.01	4.016
Material used	ABS Plastic ^a	ABS Plastic ^a	Polyamide Nylon
Filament spent (mass, length)	2 g, 0.7 m ^b	1 g, 0.21 m ^b	Not available

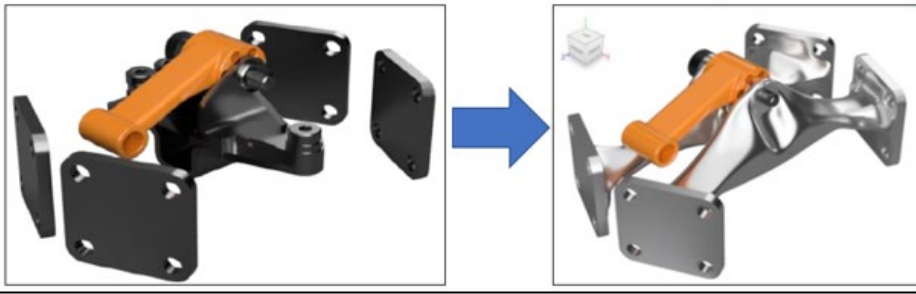
Resim 2.6. Üretken tasarım ile modellenen şaselerin DJI F450 dron şasesi ile karşılaştırması [16]

Analiz ve simülasyon sonuçları incelendiğinde üretken tasarım yaklaşımı ile tasarlanan iki alternatif dron şasi opsiyonunun, geleneksel tasarım yaklaşımı ile tasarlanan modele göre daha iyi tasarım sonuçları verdiği gözlenmiştir [16].

Bashu Aman geleneksel metotlar ile tasarlanan bir kaldırma braketini farklı malzeme opsiyonlarını kullanarak üretken tasarım yaklaşımı ile yeniden tasarlamış; kütle minimizasyonu ve montaj unsurlarını azaltmak üzere parça konsolidasyonunu hedeflemiştir. Üretken tasarım iterasyonunu başlangıcında engel ve korunmuş geometriler, parçanın maruz kaldığı yükler ve sınır koşulları belirlenmiştir [17].

Çalışma sonucunda tasarlanan en iyi 4 opsiyon ve üretken tasarım iterasyonları sonrasında tasarlanan optimum model-geleneksel model mekanikleri Resim 2.7' deki gibidir:

Properties	Outcome 1	Outcome 2	Outcome 3	Outcome 4
Design preview 				
Stress view 				
Material	Stainless steel	Iron, cast	Aluminum 7075	Aluminum 5052
Orientation	X+,Y+,Z+,X-,Y-,Z-	X+,Y+,Z+,X-,Y-,Z-	Unrestricted	X+,Y+,Z+,X-,Y-,Z-
Manufacturing method	3 axis milling	3 axis milling	5 axis milling	3 axis milling
Mass (lb mass)	1.423	1.277	0.496	0.476
Volume (in ³)	4.93	4.94	4.89	4.92
Max. von Mises stress (psi)	9057.5	13989.1	5255.3	6995.2
Min. factor of safety	4	7.86	4	4
Max. displacement global (in)	8.819e-4	0	0	0



Resim 2.7. Üretken tasarım ve geleneksel parça mekanikleri [17]

Bu tez çalışmasında ise literatürde mevcut olan yöntemler araştırılmış ve çalışmada Fusion 360 üretken tasarım modülü kullanılmıştır. Tez çalışmasında literatürden farklı olarak eklemeli imalat için birçok alternatif malzeme arasından uygun olanları sunabilen Excel VBA kullanılarak hazırlanan bir seçim modeli geliştirilmiştir. Bu seçim modelinin sonuçları kolaylıkla Fusion 360 programı ile entegre edilmiş ayrıca önerilen tasarım üzerinde mukavemet iyileştirici geliştirmeler de yapılarak hem hafif hem de mukavemeti yüksek bir tasarım işlemi çan krank (bellcrank) parçası üzerinde uygulamalı olarak gösterilmiştir. İlerleyen bölümlerde malzeme seçim ve tasarımı için geliştirilen Eklemeli İmalat Kılavuzu (Additive Manufacturing Guide) hakkında detaylı bilgilere yer verilmiştir.

3. “EKLEMELİ İMALAT KILAVUZU” MALZEME SEÇİM VE TASARIM DONESİ ÖNERME PROGRAMI

“Eklemeli İmalat Kılavuzu-Additive Manufacturing Guide” (AM GUIDE) yazılımı, eklemeli imalata yönelik tasarım ve üretim süreçlerinde; malzeme seçimi ve tasarım donelerinin tercihinde -tasarım ve optimum tasarımın ortaya koyulması neticesinde üretim proseslerinde en verimli sonuçlara ulaşılması amacıyla- bir öneri kaynağı olması için hazırlanmıştır. Bu kapsamda program iki ana hedef üzerine kurgulanmıştır; tasarımı gerçekleştirilecek ürün için gerekli özellik ve kriterlere sahip malzeme veya malzemelerin yazılımın veri tabanı kullanılmak suretiyle önerilmesi ve tasarımda kullanılacak malzemeye özel -eklemeli imalat proseslerinin imkan ve kısıtları göz önüne alınarak- tasarım donesi önerisi sunabilmek.

Malzeme seçim aşamasında kullanılacak malzeme veri tabanı için ilk aşama, eklemeli imalat proseslerinde kullanılan malzemelerin özellik ve tanımlarını içeren malzeme veri sayfalarına ulaşılmasıdır. Veri tabanının malzeme veri sayfaları üzerinden oluşturulmasındaki amaç, malzemelere ait bilgilerin, özelliklerin, deneysel değerlerin uluslararası geçerliliği kanıtlanmış kuruluşlar tarafından sağlanmış olması ve ilgili malzeme bilgilerinin veri sayfalarında ortak bir şablon ile sunuluyor olmasıdır. Malzemelere ait bilgilerin ortak bir şablon üzerinden temin edilmesi, veri tabanı oluşturma ve sonraki süreçte kriterlerin belirlenip seçim yapılması aşamasında daha doğru ve hızlı sonuçlar sağlayacaktır. Bu kapsamda UL firmasının UL Prospector kaynağında eklemeli imalat prosesinde kullanılan malzemeler için sunduğu malzeme veri sayfalarının, genel malzeme veri tabanı için kaynak olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Malzeme veri sayfaları, UL Prospector kaynağından indirilerek arşivlenmiştir. Genel malzeme veri tabanı, 46 ana malzeme grubundan 401 farklı malzemeyi içerisinde barındıracaktır (EK-1. AM Guide Veri Tabanı Malzemeleri).

Tasarım uygulamalarında malzemeye bağlı olarak gerçekleştirilecek tasarım değişkeni ve stratejisi önerilerine erişilen modülün veri tabanı Materialise firmasının eklemeli imalat prosesleri ile imal edilebilir modeller için sunduğu tasarım sınır koşulları üzerinden oluşturulmuştur. Bu ekranda 4 ana malzeme grubunda, 21 temel malzeme için 7 kritik eklemeli imalata yönelik tasarım değişkeni/yaklaşımı için sınır koşulları sunulmuştur. Sunulan sınır koşulları eklemeli imalata yönelik gerçekleştirilen üretilebilir tasarım modelleri için en yaygın sınır koşullarını aktarır. Modülde sunulan tasarım sınır koşulları ve

stratejileri, tasarım süreçleri için mutlak metot olmaktan ziyade; üretilecek parçanın malzeme grubu için eklemeli imalatla üretilebilir tasarımlar ortaya koyulabilmesi için öneriler sunar. Teknolojinin gelişmesi veya özel uygulama ve projeler kapsamındaki tasarım ve imalat performanslarından elde edilen öğrenilmiş dersler ile eklemeli imalata yönelik tasarım süreçleri için standartlaştırılmış kural ve rehberler oluşturulabilir.

Genel Malzeme Veri Tabanı Tablosu' nun oluşturulması sonrasında 16 kriter başlığı ortaya çıkmıştır. Her kriter başlığı tek başına ve birlikte kullanılmak suretiyle farklı malzeme seçim opsiyonları ve metotları sunar. Her kriter başlığının ve başlık altındaki kriter opsiyonlarının ayrı olarak incelenebilmesi ve filtre seçeneklerinin değerlendirilebilmesi için ayrı ayrı alt tablolarda toplanması gerekmektedir. Bu kapsamda Genel Malzeme Veri Tabanı Tablosu' ndaki tüm kriterler için tablolar-6446 satırlık bir çizelge- oluşturulmuştur.

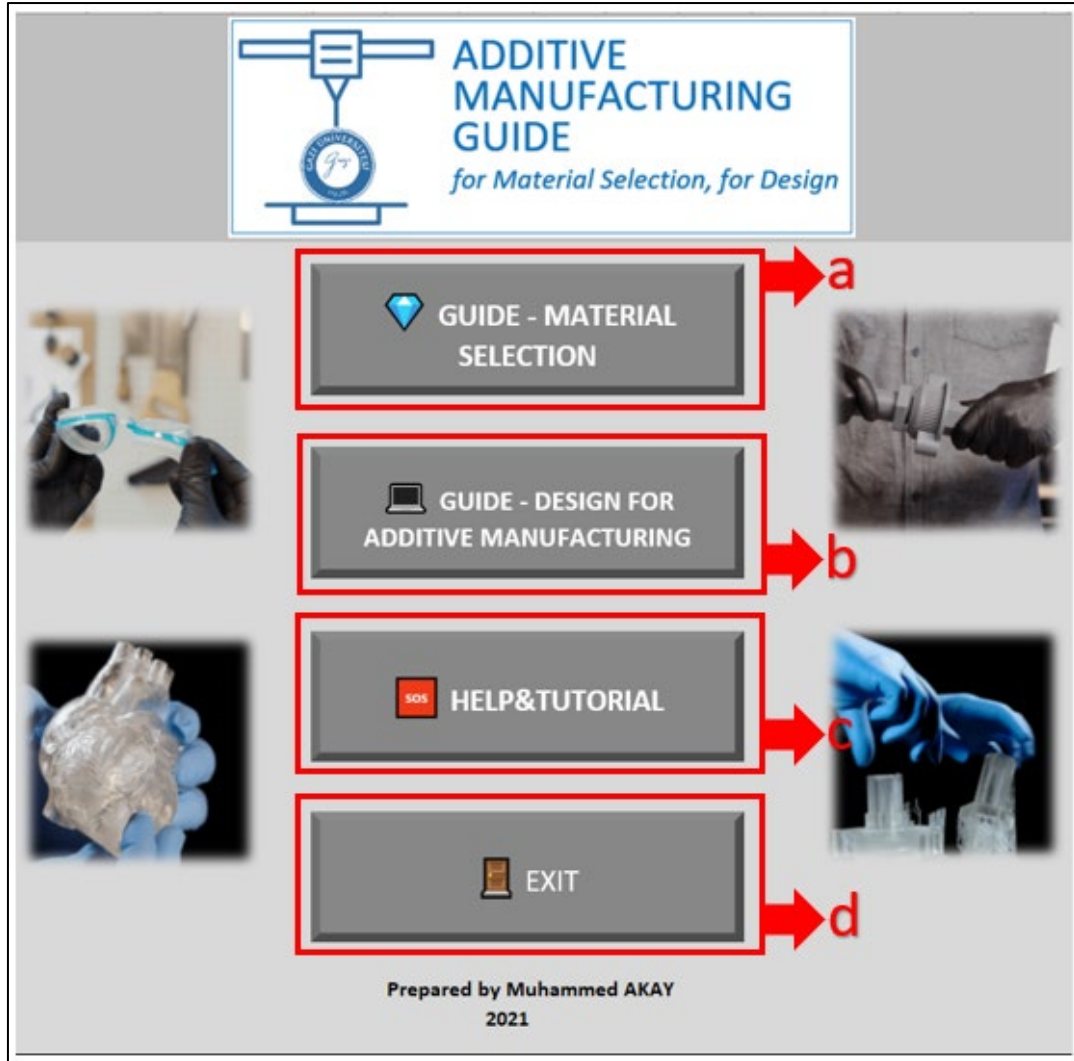
Bunlara ek olarak çok kriterli bir seçim uygulamasının gerçekleştirileceği yazılımda, her tek veya çoklu arama için defalarca 6446 satırlık bir genel veri tabanının seçimlere göre filtrelenip taranması ve uygun şekilde sıralanması hem işlem süresini oldukça uzatacak hem de yazılım altyapısında kullanılan makroların ve Power Pivot ilişkilerinin kurulmasını güçleştirecektir. Bu durumun önüne geçmek ve filtreleme sürecini kısaltmak amacıyla, kriter başlıkları için oluşturulan detay tablolar yazılımın kurgulanacağı çalışma ortamında Microsoft Excel Power Query ortamına taşınarak her biri için ayrı ayrı çalışma kitabı sorguları oluşturulmuştur (EK-2. Power Query Sorguları). Kriter başlıklarına ait alt tablolar Power Pivot ortamına aktarıldıktan sonra, diyagram ortamında veri modelleri arasındaki ilişkiler kurulmuştur (EK-3. Power Pivot ilişkileri). Kriter başlıklarının oluşturduğu veri grupları arasındaki ortak nokta “malzeme(material)” tipidir. Bu sebeple veri grupları, diyagram ekranında her bir veri grubunun “malzeme(material)” değişkeni seçilerek birbirleri ile ilişkilendirilmiştir. Malzeme seçiminde kullanılacak kriterler için yazılımda oluşturulacak kriter ekranlarının; kullanıcı ihtiyaç ve talepleri doğrultusunda gerçekleştirilen seçimlere göre malzeme önerisi sunabilmesi amacıyla genel malzeme veri tabanından türetilen alt kriter tabloları ve Power Query çalışma sorguları kaynağı kullanılarak Pivot Table alanları oluşturulmuştur (EK-4. Pivot table alanları ve filtreleme yaklaşımı). Program arayüzleri ve bağlantıların kurulmasında Excel VBA kullanılmıştır.

3.1. “Additive Manufacturing Guide (AM GUIDE)” Yazılımı Arayüzü ve Kullanımı

Bu başlık altında önceki başlıklarda altyapısı ve kurgulanma mantığı anlatılan AM GUIDE yazılımının arayüzü ve kullanımı üzerinde durulacaktır.

“Additive manufacturing guide (AM GUIDE)” yazılımı ekranları

AM GUIDE yazılımını aşağıdaki başlangıç ekranını ile kullanıcıyı karşılar (Resim 3. 1):



Resim 3.1. AM GUIDE başlangıç ekranı

Başlangıç ekranındaki sekmelerin görevleri aşağıdaki gibidir:

a: GUIDE-MATERIAL SELECTION (MALZEME SEÇİM REHBERİ): Kullanıcıyı, AM GUIDE yazılımının malzeme seçim ekranına götürür.

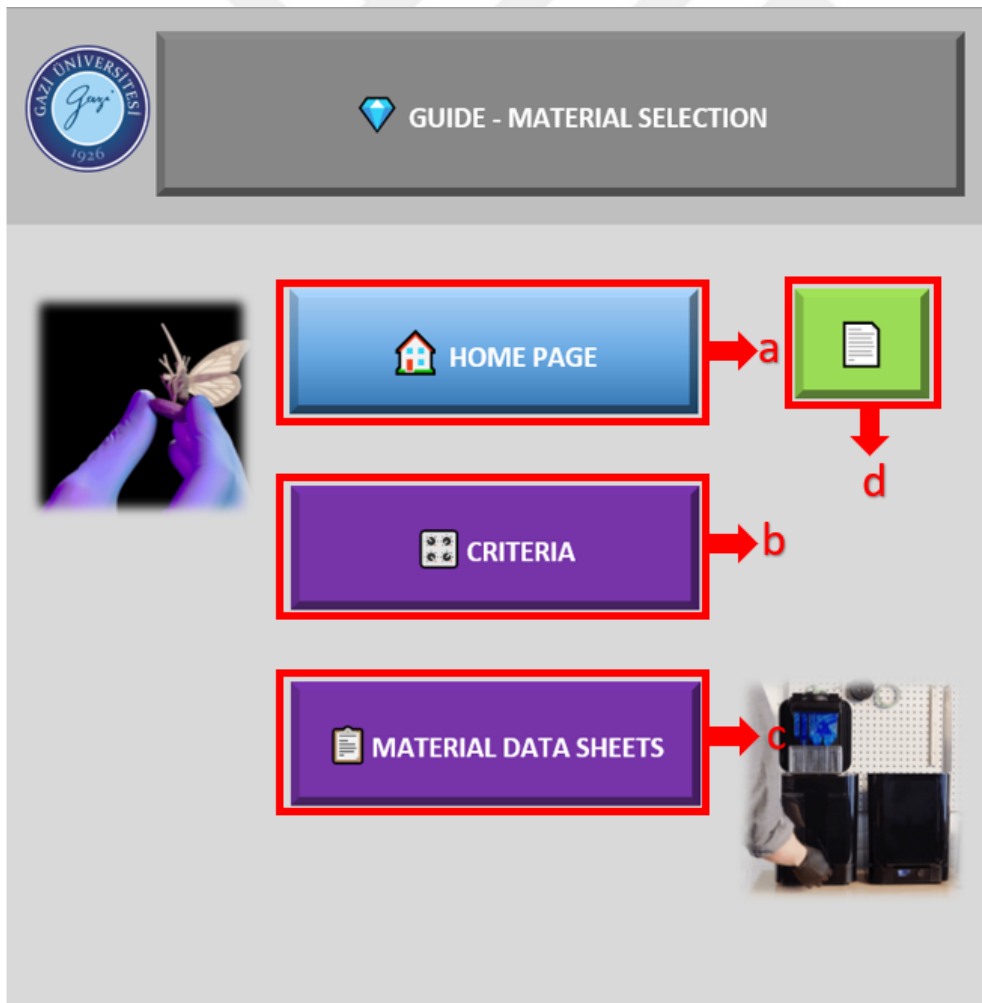
b: GUIDE-DESIGN FOR ADDITIVE MANUFACTURING (EKLEMELİ İMALATA YÖNELİK TASARIM REHBERİ): Kullanıcıyı, AM GUIDE yazılımının tasarım değişkeni önerme ekranına götürür.

c: HELP&TUTORIAL (YARDIM&ÖĞRETİCİ İÇERİK): AM GUIDE yazılımının nasıl kullanılacağı hakkında yardımcı kaynaklar ekranına yönlendirir.

d: EXIT (ÇIKIŞ) : AM GUIDE yazılımını kapatır.

3.1.1. Guide-material selection (malzeme seçim rehberi) ekranı

“GUIDE-MATERIAL SELECTION” ekranı AM GUIDE yazılımının malzeme seçim rehberi ana sayfasıdır (Resim 3. 2. “Guide-material selection” ekranı).



Resim 3.2. “Guide-material selection” ekranı

Ekrandaki sekmelerin görevleri aşağıdaki gibidir:

a: HOME PAGE (YAZILIM ANASAYFASI)¹: AM GUIDE başlangıç ekranına gider.

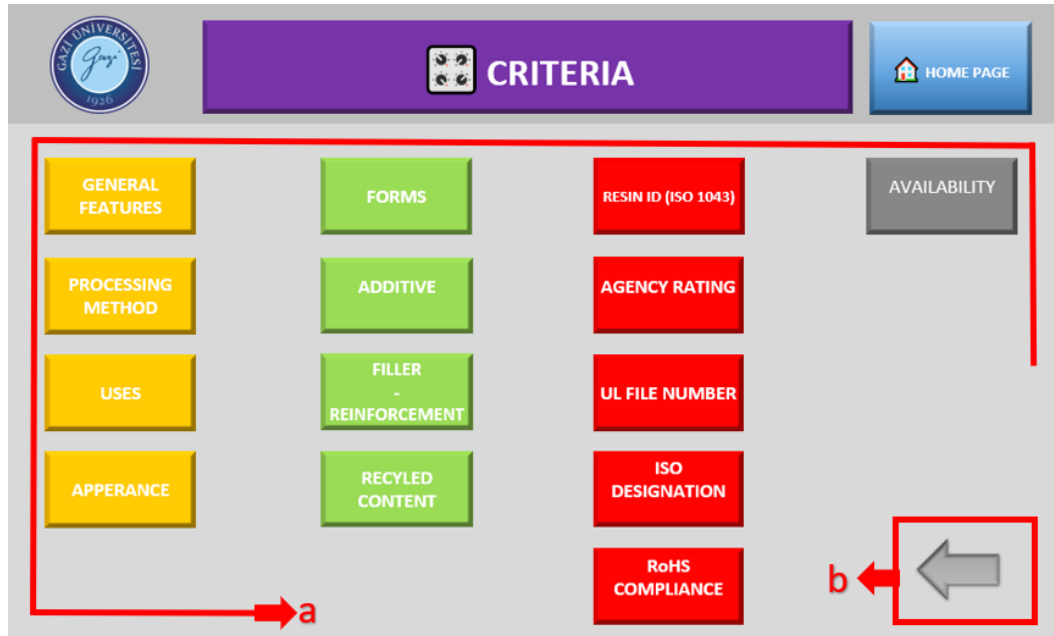
b: CRITERIA (KRİTERLER): Malzeme seçiminde kullanılacak kriterlerin bulunduğu kriter ekranına gider.

c: MATERIAL DATA SHEETS (MALZEME VERİ SAYFALARI): AM GUIDE veri tabanında bulunan malzemelerin “malzeme veri sayfaları” kaynağına gider.

d: NOTEPAD (NOT DEFTERİ): Kullanıcının aday malzeme olarak belirlediği malzemeleri eklediği ve malzeme seçim önerisi raporunu listelediği, not defteri ekranına gider.

“Criteria (kriterler)” ekranı

Bu ekranda kullanıcının malzeme seçiminde tercih edebileceği değerlendirme kriterleri bulunur. Bu kapsamda kullanıcı 14 farklı değerlendirme kriteri başlığında malzeme seçimi gerçekleştirebilir. Kriter başlıkları Resim 3.3’ de sunulmuştur.



Resim 3.3. “Criteria (kriterler)” ekranı

¹ Resim 3.2. “Guide-material selection” ekranı HOME PAGE linki tüm ekranlarda AM GUIDE Başlangıç ekranına dönmeyi sağlamaktadır. İlerleyen ekranlarda bu link için ek açıklama paylaşılmayacaktır.

Resim 3.3. “Criteria (kriterler)” ekranı görselinde;

a: Malzeme seçim kriterleri

b ←(gri ok)²: Bir üst ekrana dönme linki

* ←(gri ok) linki, bulunduğu tüm ekranlarda bir üst sayfaya gitmeye yarar (Örneğin bu ekranda kullanıcıyı “GUIDE-MATERIAL SELECTION EKRANI” na götürecektir). Bu kapsamda “gri ok” linki konumlanmış tüm sayfalar için tekrar link açıklaması paylaşılmayacaktır.

Criteria (kriterler) ekranında kriter sekmelerinin tasarımında 4 renk kullanılmıştır. Turuncu kriterler; malzemenin genel özellikleri, kullanım alanı, kullanılabildiği eklemeli imalat prosesi gibi belirgin seçim kriterlerini, yeşil kriterler; daha çok malzeme iç yapısı, konfigürasyonu ve geri dönüştürülebilme gibi malzeme iç yapısı ile ilgili kriterleri, kırmızı kriterler; malzemeni uluslararası standart ve değerlendirme kriterlerine göre sahip olduğu özellikler kapsamındaki opsiyonları ve son olarak gri kriter ise malzemenin ticari özelliklerini temsil etmektedir. Kriterler ve Türkçe karşılıkları aşağıdaki gibidir (Çizelge 3.1. Criteria (kriterler)):

3.1. Criteria (kriterler):

Çizelge 3.1. Criteria (kriterler)

#	CRITERIA:	KRİTERLER:
1	GENERAL FEATURES	GENEL MALZEME ÖZELLİKLERİ
2	PROCESSING METHOD	İMALAT METOTLARI
3	USES	KULLANIM ALANLARI
4	APPEARENCE	DIŞ GÖRÜNÜŞ
5	FORMS	MALZEME FORMU
6	ADDITIVE	MALZEME KATKISI
7	FILLER/REINFORCEMENT	DOLGU-TAKVİYE YAPILAR
8	RECYCLED CONTENT	GERİ DÖNÜŞÜM DURUMU
9	RESIN ID (ISO 1043)	RESIN ID (ISO 1043)
10	AGENCY RATINGS	DERECELENDİRİLME
11	UL FILE NUMBER	UL DOSYA NUMARASI
12	ISO DESIGNATION	ISO TANIMI
13	RoHS COMPLIANCE	RoHS UYUMLULUK
14	AVAILABILITY	TEMİN EDİLEBİLİRLİK

² ← (gri ok) linki, bulunduğu tüm ekranlarda bir üst sayfaya gitmeye yarar (Örneğin bu ekranda kullanıcıyı “GUIDE-MATERIAL SELECTION EKRANI” na götürecektir.). Bu kapsamda “gri ok” linki konumlanmış tüm sayfalar için tekrar link açıklaması paylaşılmayacaktır.

Kriter ekranları ve kullanımları

Bu başlık altında kriter ekranları ve ekranların nasıl kullanıldığı hakkında bilgiler sunulacaktır.

General features (genel malzeme özellikleri)

Bu kriter başlığında bir özellikler listesi (Resim 3.4) sunulur. Kullanıcı bu listeden tasarlayacağı ürünün kriter ve isterlerine göre opsiyon seçimi yapar. Liste tekli ve çoklu seçime olanak tanır.

Genel özellikler listesinden opsiyon seçimleri tamamlandıktan sonra, “Result” tuşuna basılır ve sonuç ekranı görüntülenir. Sonuç ekranında seçilen opsiyonlardan en az birini veya hepsini sağlayan malzemeler arasında, seçili opsiyon veya opsiyonları en çok sağlayan malzemedan en az sağlayan malzemeye doğru bir sıralama yapılır. Kullanıcı “Sonuç Ekranı” nda listelenen malzemeler arasından final değerlendirmesine dahil edeceği malzemeleri “NOTEPAD” e ekler.

Resim 3.4. General features ekranı feature list’ görselindeki kısımlar:

a: CLEAR (TEMİZLE): Özellikler Listesi (Feature List)’nde yapılan seçimleri temizler.

b: RESULT (SONUÇ EKRANI): Sonuçlar Ekranı’nı açar.

c: FEATURES (ÖZELLİKLER): Özellik seçim barını gösterir.

Şeklinde tanımlanır.

Resim 3.5’te örnek bir malzeme seçiminin sonuç ekranı paylaşılmıştır.

HOME PAGE

RESULTS

CLEAR TABLE

↓

GENERAL FEATURES-FEATURE LIST

FEATURES:	Autoclave Sterilizable	Base Resistant	Biocompatible	Biodegradable
Autoclavable	Bromine Free	Chemical Resistant	Clean/High Purity	Compostable
Bondability	Corrosion Resistant	Crack Resistant	Crosslinkable	Crystalline
Copolymer	Durable	Electrically Conductive	ESD Protection	Ethylene Oxide Sterilizable
Ductile	Fast Cure	Fatigue Resistant	Filled	Flame Retardant
Excellent Printability	Fuel Resistant	Gasoline Resistant	General Purpose	Good Adhesion
Food Contact Acceptable	Good Colorability	Good Dimensional Stability	Good Elasticity	Good Flexibility
Good Color Stability	Good Gloss	Good Heat Resistance	Good Impact Resistance	Good Mold Release
Good Flow	Good Printability	Good Processability	Good Rigidity	Good Scratch Resistance
Good Optical Properties	Good Sterilizability	Good Stiffness	Good Strength	Good Surface Finish
Good Stability	Good Thermal Stability	Good Toughness	Good Weather Resistance	Grease Resistant
Good Tear Strength	Heat Stabilized	High Clarity	High Density	High Dimensional Stability
Halogen Free	High Elongation	High Flexibility	High Flow	High Gloss
High Elasticity	High Heat Resistance	High Impact Resistance	High Melt Strength	High Purity
High Hardness	High Stiffness	High Strength	High Tensile Strength	High Toughness
High Rigidity	Humidity Resistant	Hydrolysis Resistant	Hydrolytically Stable	Hydrophobic
Highly Crystalline	Laser Markable	Low (to None) Phosphorus Content	Low CLTE	Low Friction
Ignition Resistant	Low Moisture Absorption	Low Odor	Low Shrinkage	Low Smoke Emission
Low Gloss	Low Temperature Resistant	Low to No Water Absorption	Low Toxicity	Low Viscosity
Low Temperature Flexibility	Machinable	Medium Clarity	Medium Gloss	Medium Rigidity
Low Warpage	Metallized	Moisture Resistant	Non-Toxic	Odorless
Medium Viscosity	Outstanding Surface Finish	Oxidation Resistant	Paintable	Platable
Oil Resistant				

Resim 3.4. General features ekran feature list

HOME PAGE	FEATURE LIST	GENERAL FEATURES-MATERIALS
		NUMBER OF OPTIONS PROVIDED:
	MATERIALS:	
	◦ Ultrasint PA11 GB30	2
	Good Stiffness	1
	Good Strength	1
	◦ Formlabs Clear	2
	Good Stiffness	1
	Good Strength	1
	◦ XSTRANDt GF30-PP	1
	Good Heat Resistance	1
	◦ Asiga® PlasPINK	1
	Good Strength	1
	◦ Amphora™ Flex 3D Polymer FL6000	1
	Good Toughness	1
	◦ Accura® ClearVuet Free (SL 7870)	1
	Good Toughness	1
	◦ Ultrafuse ABS	1
	Good Strength	1
	◦ CarbonResin RPU 60	1
	Good Strength	1
	◦ Amphora™ 3D Polymer AM1800	1
	Good Toughness	1
	◦ CarbonResin RPU 61	1
	Good Toughness	1

Resim 3.5. Result (sonuç ekranı)

Sonuç ekranı görselindeki kısımlar:

a: FEATURE LIST: Özellikler Listesi (FEATURE LIST) sayfasına geri dönmeye yarar.

b: MATERIALS: Seçili opsiyonlar sonucu listelenen malzemeler.

c: NUMBER OF OPTIONS PROVIDED: Listelenen malzemelerin sahip olduğu seçili opsiyon sayısıdır.

d: Özellikler Listesi (FEATURE LIST) tablosundan ilgili malzemenin sahip olduğu opsiyon/opsiyonlardır.

Genel malzeme özellikleri kriterindeki malzeme seçim opsiyonları ve malzeme veri tabanında ilgili opsiyonlara sahip malzeme sayıları Çizelge 3.2' de listelenmiştir.

Çizelge 3.2. Malzeme sayısının genel malzeme özelliklerine göre dağılımı

#	GENERAL FEATURES:	GENEL ÖZELLİKLER:	NUMBER OF MATERIALS IN THE CRITERION: (KRİTERDEKİ MALZEME SAYISI:)
1	Abrasion Resistant	Aşınmaya Dayanıklı	17
2	Acid Resistant	Asite Dayanıklı	5
3	Alcohol Resistant	Alkole Dayanıklı	3
4	Amorphous	Amorf	9
5	Antimony Free	Antimon İçermez	2
6	Autoclavable	Otoklavlanabilir	1
7	Autoclave Sterilizable	Otoklav Sterilize Edilebilir	3
8	Base Resistant	Baza Dayanıklı	5
9	Biocompatible	Biyouyumlu	29
10	Biodegradable	Biyoçözünebilir	2
11	Bondability	Yapıştırılabilirlik/Kaynaştırılabilirlik	2
12	Bromine Free	Brom İçermez	1
13	Chemical Resistant	Kimyasal Dirençli	62
14	Clean/High Purity	Temiz/Yüksek Saflık	10
15	Compostable	Kompostlanabilir	3
16	Copolymer	Kopolimer	3
17	Corrosion Resistant	Korozyona Dayanıklı	12
18	Crack Resistant	Çatlamaya Dayanıklı	2
19	Crosslinkable	Çapraz Bağlanabilir	1
20	Crystalline	Kristalize	3
21	Ductile	Sünek	9
22	Durable	Dayanıklı	64

Çizelge 3.2. (devam) Malzeme sayısının genel malzeme özelliklerine göre dağılımı

#	GENERAL FEATURES:	GENEL ÖZELLİKLER:	NUMBER OF MATERIALS IN THE CRITERION: (KRİTERDEKİ MALZEME SAYISI:)
23	Electrically Conductive	Elektriksel Olarak İletken	2
24	ESD Protection	ESD Koruması	5
25	Ethylene Oxide Sterilizable	Etilen Oksit Sterilize Edilebilir	3
26	Excellent Printability	Mükemmel Yazdırılabilirlik(3D)	1
27	Fast Cure	Hızlı Kürlenme	1
28	Fatigue Resistant	Yorulmaya Dayanıklı	10
29	Filled	Dolu	13
30	Flame Retardant	Alev Geciktirici	14
31	Food Contact Acceptable	Gıda ile Teması Kabul Edilebilir	14
32	Fuel Resistant	Yakıtı Dayanıklı	2
33	Gasoline Resistant	Benzine Dayanıklı	1
34	General Purpose	Genel Amaçlı	4
35	Good Adhesion	İyi Adhezyon Özellik	8
36	Good Color Stability	İyi Renk Kararlılığı	2
37	Good Colorability	İyi Renklendirilebilirlik	2
38	Good Dimensional Stability	İyi Boyutsal Kararlılık	28
39	Good Elasticity	İyi Esneklik	1
40	Good Flexibility	İyi Esneklik	22
41	Good Flow	İyi Yüksek Akış	1
42	Good Gloss	İyi Parlaklık	1
43	Good Heat Resistance	İyi Isı Direnci	6
44	Good Impact Resistance	İyi Darbe Dayanımı	19
45	Good Mold Release	İyi Kalıp Ayırıcı	2
46	Good Optical Properties	İyi Optik Özellikler	2
47	Good Printability	İyi Yazdırılabilirlik(3D)	3
48	Good Processability	İyi İşlenebilirlik	17
49	Good Rigidity	İyi Rijitlik	6
50	Good Scratch Resistance	İyi Çizilme Direnci	1
51	Good Stability	İyi Stabilite	5
52	Good Sterilizability	İyi Sterilize Edilebilirlik	8
53	Good Stiffness	İyi Sertlik	15
54	Good Strength	İyi Mukavemet	33
55	Good Surface Finish	İyi Son Yüzey	56
56	Good Tear Strength	İyi Yırtılma Mukavemeti	1
57	Good Thermal Stability	İyi Termal Stabilite	22
58	Good Toughness	İyi Tokluk	39

Çizelge 3.2. (devam) Malzeme sayısının genel malzeme özelliklerine göre dağılımı

#	GENERAL FEATURES:	GENEL ÖZELLİKLER:	NUMBER OF MATERIALS IN THE CRITERION: (KRİTERDEKİ MALZEME SAYISI:)
59	Good Weather Resistance	İyi Hava Direnci	4
60	Grease Resistant	Grese Dayanıklı	5
61	Halogen Free	Halojensiz	3
62	Heat Stabilized	Isı Stabilizasyon	1
63	High Clarity	Yüksek Netlik	10
64	High Density	Yüksek Yoğunluk	1
65	High Dimensional Stability	Yüksek Boyutsal Kararlılık	1
66	High Elasticity	Yüksek Elastikiyet	13
67	High Elongation	Yüksek Uzama	7
68	High Flexibility	Yüksek Esneklik	1
69	High Flow	Yüksek Akış Özelliği	4
70	High Gloss	Yüksek Parlaklık	1
71	High Hardness	Yüksek Sertlik	4
72	High Heat Resistance	Yüksek Isı Direnci	66
73	High Impact Resistance	Yüksek Darbe Dayanımı	19
74	High Melt Strength	Yüksek Erime Mukavemeti	2
75	High Purity	Yüksek Saflık	1
76	High Rigidity	Yüksek Rijitlik	22
77	High Stiffness	Yüksek Sertlik	19
78	High Strength	Yüksek Mukavemet	54
79	High Tensile Strength	Yüksek Çekme Mukavemeti	2
80	High Toughness	Yüksek Tokluk	5
81	Highly Crystalline	Yüksek Kristalize Yapı	2
82	Humidity Resistant	Neme Dayanıklı	20
83	Hydrolysis Resistant	Hidrolize Dayanıklı	1
84	Hydrolytically Stable	Hidrolitik Olarak Kararlı	1
85	Hydrophobic	Hidrofobik	1
86	Ignition Resistant	Tutuşmaya Dayanıklı	1
87	Laser Markable	Lazer İle Markalanabilir	5
88	Low (to None) Phosphorus Content	Düşük (Sıfır) Fosfor İçeriği	1
89	Low CLTE	Düşük CLTE	2
90	Low Friction	Düşük Sürtünme	2
91	Low Gloss	Düşük Parlaklık	2
92	Low Moisture Absorption	Düşük Nem Emme	5
93	Low Odor	Düşük Koku	7

Çizelge 3.2. (devam) Malzeme sayısının genel malzeme özelliklerine göre dağılımı

#	GENERAL FEATURES:	GENEL ÖZELLİKLER:	NUMBER OF MATERIALS IN THE CRITERION: (KRİTERDEKİ MALZEME SAYISI:)
94	Low Shrinkage	Düşük Büzülme	2
95	Low Smoke Emission	Düşük Duman Emisyonu	3
96	Low Temperature Flexibility	Düşük Sıcaklık Esnekliği	1
97	Low Temperature Resistant	Düşük Sıcaklığa Dayanıklı	3
98	Low to No Water Absorption	Düşük veya Hiç Su Emme	11
99	Low Toxicity	Düşük Toksikite	2
100	Low Viscosity	Düşük Viskoziteli	9
101	Low Warpage	Düşük Çarpılma	6
102	Machinable	İşlenebilir	3
103	Medium Clarity	Orta Netlik	1
104	Medium Gloss	Orta Parlaklık	1
105	Medium Rigidity	Orta Sertlik	4
106	Medium Viscosity	Orta Viskozite	1
107	Metallized	Metalize	1
108	Moisture Resistant	Neme Dayanıklı	14
109	Non-Toxic	Toksik Olmayan	1
110	Odorless	Kokusuz	1
111	Oil Resistant	Yağa Dayanıklı	6
112	Outstanding Surface Finish	Çok İyi Son Yüzey	23
113	Oxidation Resistant	Oksidasyona Dayanıklı	3
114	Paintable	Boyanabilirlik	8
115	Platable	Kaplanabilir	1
116	Pleasing Surface Appearance	Hoş Yüzey Görünümü	7
117	Radiation Sterilizable	Radyasyonla Sterilize Edilebilir	2
118	Rapid Static Decay	Hızlı Statik Bozunma	1
119	Recyclable Material	Geri Dönüştürülebilir Malzeme	11
120	Renewable Resource Content	Yenilenebilir Kaynak İçeriği	15
121	Resilient	Esnek	2
122	Semi Crystalline	Yarı Kristal	1
123	Semi Rigid	Yarı Rijit	1
124	Shock Absorbent	Şok Emici	3
125	Shock Resistant	Şoka dayanıklı	2
126	Soft	Yumuşak	6
127	Solvent Resistant	Solvente Dayanıklı	3
128	Statically Conductive	Statik Olarak İletken	1
129	Steam Sterilizable	Buharla Sterilize Edilebilir	2

Çizelge 3.2. (devam) Malzeme sayısının genel malzeme özelliklerine göre dağılımı

#	GENERAL FEATURES:	GENEL ÖZELLİKLER:	NUMBER OF MATERIALS IN THE CRITERION: (KRİTERDEKİ MALZEME SAYISI:)
130	Ultra High Stiffness	Ultra Yüksek Sertlik	4
131	Ultra High Toughness	Ultra Yüksek Tokluk	9
132	UV Resistant	UV Dayanımlı	8
133	Vibration Damping	Titreşim Sönümlemesi	4
134	Warp Resistant	Çarpılmaya Dirençli	3
135	Water Soluble	Suda Çözünebilir	1
136	Wear Resistant	Aşınmaya Dayanıklılık	14
137	Weldable	Kaynaklanabilir	1

Processing method (imalat metotları)

Bu kriter başlığında malzeme seçim metodu eklemeli imalat metoduna göre filtreleme yapılması suretiyle malzeme seçimi gerçekleştirilir.

Bu seçim metodunda eklemeli imalat proses kapsamı Çizelge 3.3'deki gibidir:

Çizelge 3.3. Processing method (imalat metotları) proses kapsamı

#	PROCESSING METHOD:	İMALAT METOTLARI:
1	3D Printing	3D Baskı
2	Coating	Kaplama
3	Continuous Liquid Interface Production (CLIP)	Sürekli Sıvı Arayüz Üretimi (CLIP)
4	Electron Beam	Elektron Işını
5	Extrusion	Ekstrüzyon
6	Filament Extrusion	Filament Ekstrüzyon
7	Film Extrusion	Film Ekstrüzyonu
8	Fused Filament Fabrication (FFF)	Ergitilmiş Filament İle İmalat
9	Injection Molding	Enjeksiyon Kalıplama
10	Jetted Binder	Bağlayıcı Püskürtme
11	Jetted Photopolymer	Jetli Fotopolimer
12	Laser Melting	Lazer Ergitme
13	Laser Sintering	Lazer Sinterleme
14	Multi Jet Fusion (MJF)	Çoklu Jet Füzyon (MJF)
15	Stereolithography	Stereolitografi

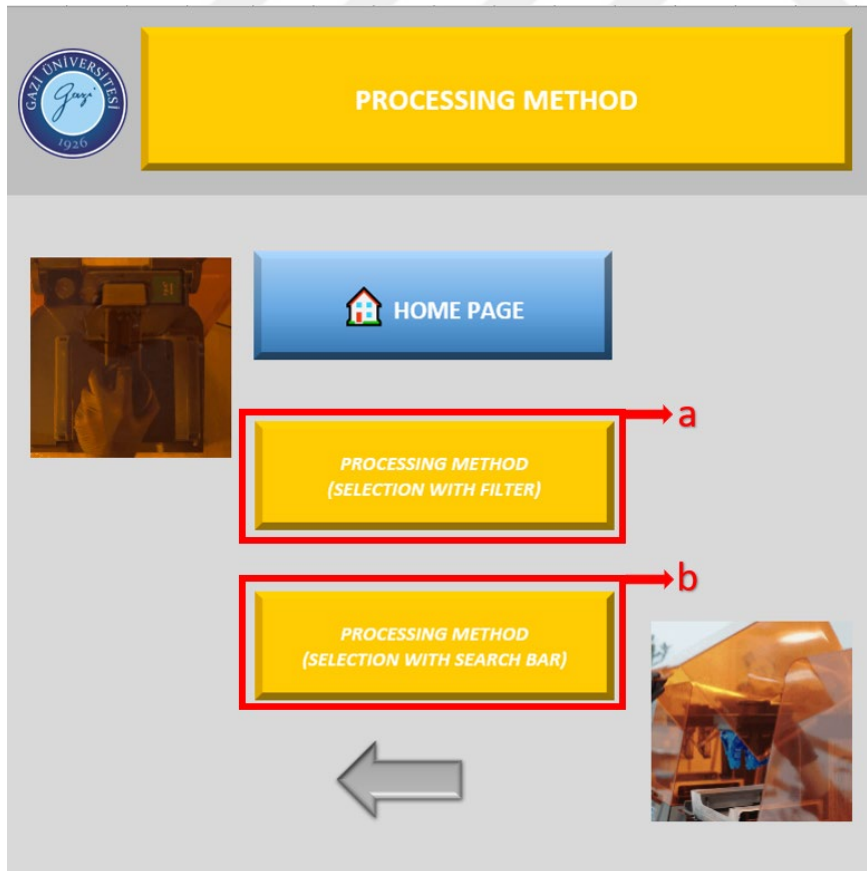
İmalat metoduna yönelik malzeme seçimi kapsamında kullanıcıya iki ayrı opsiyon sunulmuştur:

Bu kapsamda bu ekranda önerilen ilk metotta; kullanıcı tarafından seçilen eklemeli imalat prosesi opsiyonlarına göre aday malzemeler listelenir. İkinci opsiyon ise bir arama barı üzerinden aratılan malzemeye göre uygun eklemeli imalat proses/proseslerinin listelenmesi şeklindedir.

Processing method (imalat metotları) kriteri ana sayfası Resim 3.6'daki gibidir.

Ana sayfa ekranındaki linkler:

- a: Processing Method (Selection with Filter) [İmalat Metodu (Filtreleme Metodu İle Seçim)]
- b: Processing Method (Selection with Search Bar)[İmalat Metodu (Arama Çubuğu İle Seçim)]



Resim 3.6. Processing method (imalat metotları) ekranı

PROCESSING METHOD kriteri ana sayfasında sunulan malzeme seçim opsiyonları ile ilgili başlıklarda detaylı olarak incelenecektir.

Processing method (selection with filter) [imalat metodu (filtreleme metodu ile seçim)]:

Bu seçim opsiyonunda Resim 3.7' deki ekran kullanıcıyı karşılar.

The screenshot shows a web interface for selecting processing methods. At the top, there is a navigation bar with three buttons: a yellow 'PROCESSING METHOD' button, a blue 'HOME PAGE' button, and a red 'CLEAR' button with a trash icon. A large grey arrow points from the 'CLEAR' button towards the left. Below the navigation bar is a grid of processing methods. The grid has a title 'PROCESSING METHOD:' and a 'CLEAR SELECTION' button below it. The grid contains the following methods: 3D Printing, Coating, Continuous Liquid Interfa..., Electron Beam, Extrusion, Filament Extrusion, Film Extrusion, Fused Filament Fabricati..., Injection Molding, Jetted Binder, Jetted Photopolymer, Laser Melting, Laser Sintering, Multi Jet Fusion (MJF), and Stereolithography. Below the grid is a table with two columns: 'MATERIAL:' and 'NUMBER OF OPTIONS PROVIDED:'. The table has 10 rows. Red arrows labeled 'a', 'b', and 'c' point to the 'CLEAR' button, the processing method grid, and the table respectively.

Resim 3.7. Processing method (selection with filter) opsiyonu ekranı

Ekrandaki butonlar ve alanlar aşağıdaki gibidir :

a: CLEAR (TEMİZLE): Tablodaki seçili opsiyonların temizlenmesini sağlayan tuştur.

b: Eklemeli imalat prosesi opsiyonu seçim barı

c: Sonuç alanı

Bu seçim kriteri opsiyonunda, kullanıcı üretim faaliyetini gerçekleştirmeyi planladığı eklemeli imalat prosesi/prosesleri seçer. (b ile işaretli alan)

Proses seçimleri tamamlandığında, seçili prosesleri en çok sağlayan malzemeden en az sağlayan malzemeye doğru sonuç alanına raporlanır. (c)

Kullanıcı “Sonuç Ekranı” nda listelenen malzemeler arasından final değerlendirmesine dahil edeceği malzemeleri “NOTEPAD” e ekler.

The screenshot shows a software interface for selecting processing methods and materials. The 'PROCESSING METHOD' section includes a grid of options: 3D Printing, Coating, Continuous Liquid Interface P..., Electron Beam, Extrusion, Filament Extrusion, Film Extrusion, Fused Filament Fabrication f..., Injection Molding, Jetted Binder, Jetted Photopolymer, Laser Melting, Laser Sintering, Multi Jet Fusion (MJF), and Stereolithography. 'Laser Melting' and 'Laser Sintering' are selected. Below this is a 'MATERIAL' section with a table of materials and their associated processing methods. The 'Ultrasint PA11 black' material is highlighted, and its 'Laser Melting' and 'Laser Sintering' options are also highlighted. Red arrows labeled 'a', 'b', 'c', and 'd' indicate the flow of information from the processing method selection to the material selection and then to the final selection of the material and its processing methods.

MATERIAL:	NUMBER OF OPTIONS PROVIDED:
• LPW H230	2
Laser Melting	1
Laser Sintering	1
• Ultrasint PA11 black	2
Laser Melting	1
Laser Sintering	1
• SINTERLINE© POWDER PA6 6300	2
Laser Melting	1
Laser Sintering	1
• Adsint TPU 90 flex	2
Laser Melting	1
Laser Sintering	1
• WINDFORM© GF 2.0	2
Laser Melting	1
Laser Sintering	1

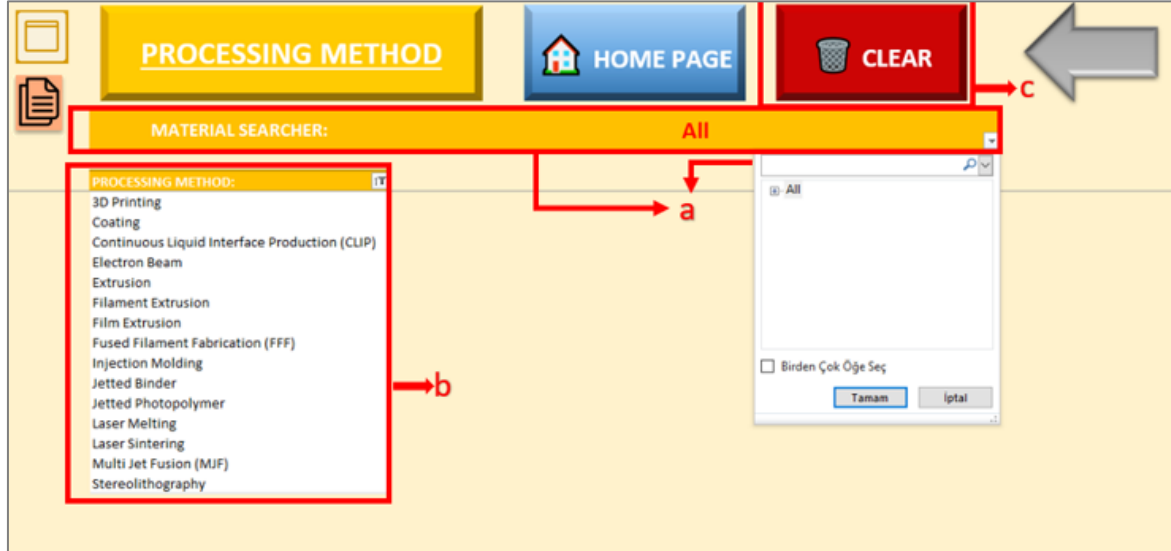
Resim 3.8. Processing method (selection with filter) opsiyonu örnek uygulama

Resim 3.8’ de aktarılan malzeme seçimi örneğinde kısımlar aşağıdaki gibidir:

- a: Kullanıcı tarafından seçilen eklemeli imalat opsiyonları
- b: Seçili opsiyonlara göre veri tabanının önerdiği malzemeler
- c: İlgili malzemenin sağladığı seçili opsiyon sayısı
- d: İlgili malzemenin sağladığı seçili opsiyonlar

Processing method (selection with search bar) [imalat metodu (arama çubuğu seçim)]

Processing method (selection with search bar) ekranı (Resim 3.9) aşağıdaki gibidir.



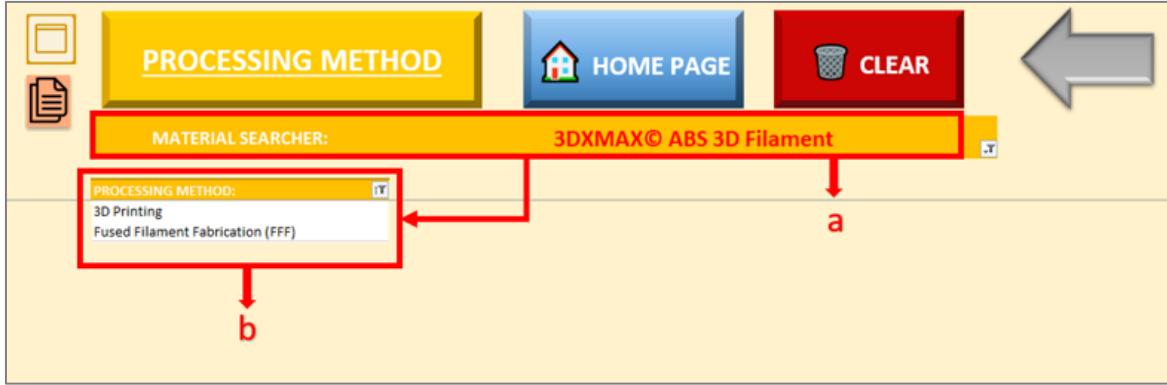
Resim 3.9. Processing method (selection with search bar) ekranı

Processing method (selection with search bar) ekranındaki:

- a: Material Searcher: Malzeme araması gerçekleştirilen “malzeme arama çubuğudur”.
- b: Eklemeli imalat metotları
- c: CLEAR: Malzeme arama çubuğunu temizler.

Bu ekran, “arama motoru” yardımıyla taranan malzeme/malzemeler için eklemeli imalat prosesi araştırılması ya da farklı kriterler kapsamında aday malzeme olarak belirlenen- “NOTEPAD” a aktarılan- malzemeler için üretim prosesi opsiyonlarının tespitinin gerçekleştirilmesi olanaklarını sunar.

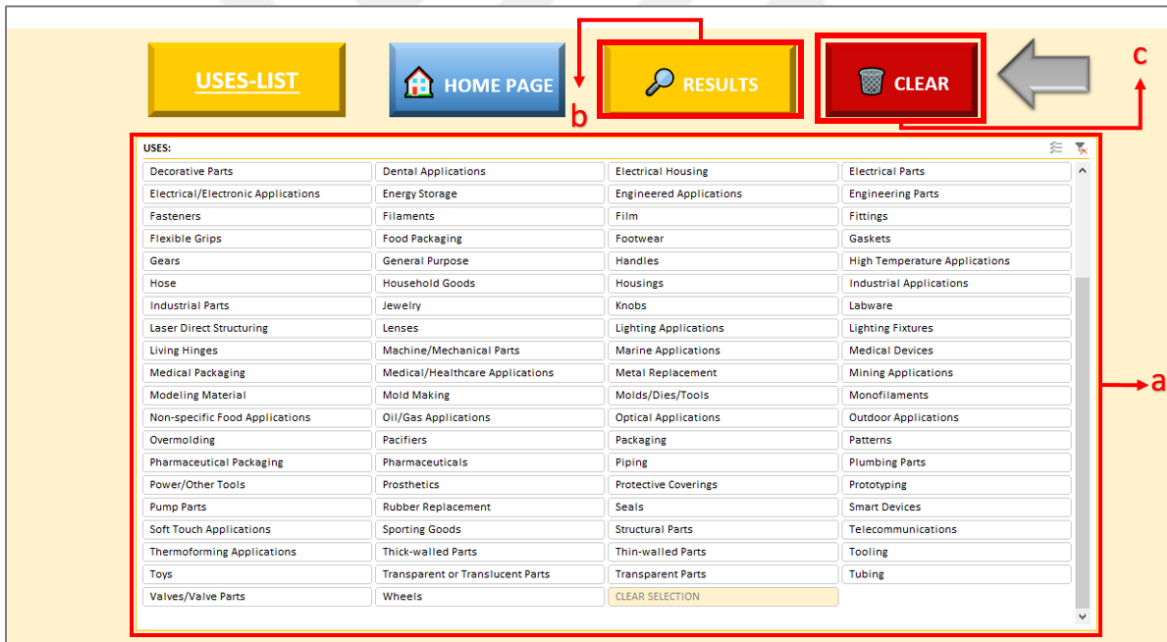
Örneğin, “Resim 3. 10’da 3DMAX© ABS 3D Filament malzemesi için arama çubuğu üzerinden sorgu yapılmıştır (a) ve sonuçlar görseldeki “b” kısmında seçili malzemenin kullanılabileceği eklemeli imalat metotları raporlanmıştır.



Resim 3.10. Processing method (selection with search bar) opsiyonu örnek uygulama

Uses (kullanım alanları)

Uses (kullanım alanları) kriteri ekranı aşağıdaki gibidir:



Resim 3.11. Uses (kullanım alanları) kriteri ekranı

Resim 3. 11' deki alanlar aşağıdaki gibidir:

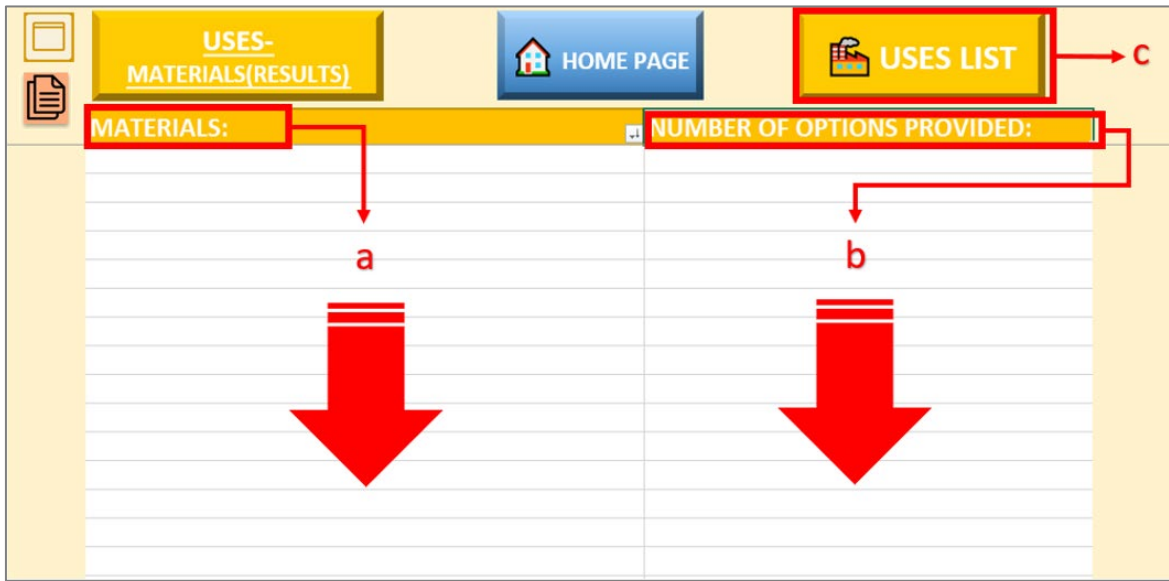
a: Uses (kullanım alanları) Seçim Paneli

b: Result (sonuç ekranı): Sonuç Ekranı' nı açar.

c: Kullanım alanı seçim panelindeki seçili opsiyonları temizler.

Bu kriterde kullanıcıya Uses (kullanım alanları) seçim paneli sunulur (a), panel veri tabanındaki malzemelerin tümü için kullanım alan/alanları üzerinden bir filtreleme olanağı sunar. Kullanıcı Uses (kullanım alanları) panelinden ürün veya tasarımı doğrultusunda seçim/seçimler gerçekleştirir. Seçim tamamladıktan sonra “RESULT (SONUÇ EKRANI)” tuşuna (b) basılarak sonuçlar görüntülenir.

Kullanıcı sonuç ekranında (Resim 3.12) listelenen malzemeler arasından final değerlendirmesine dahil edeceği malzemeleri “NOTEPAD” e ekler.

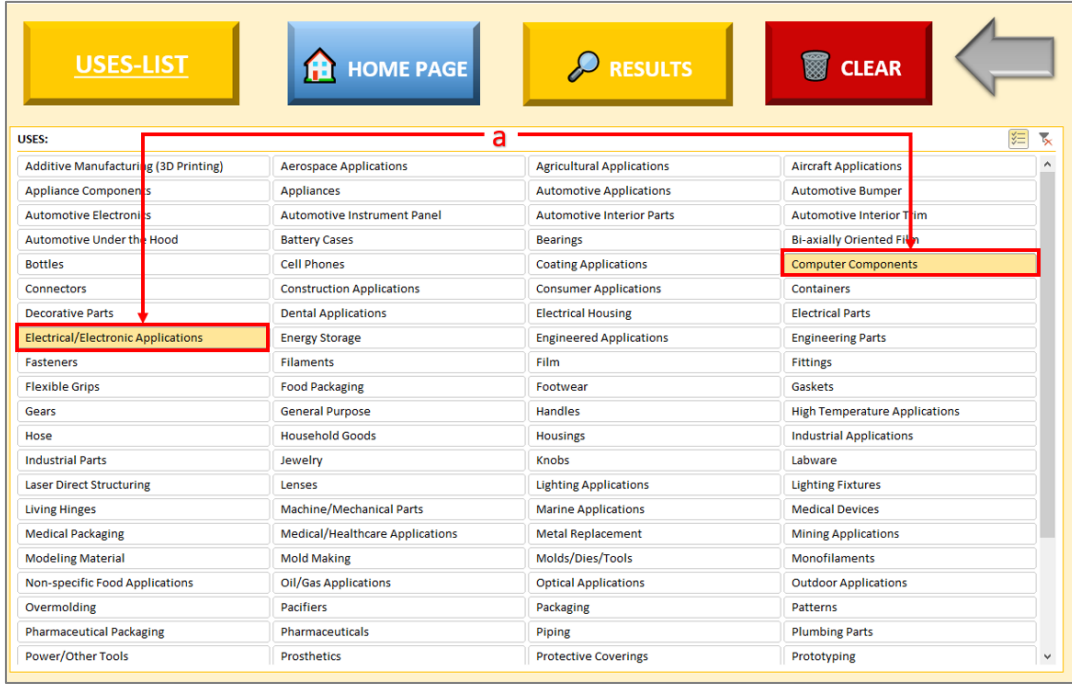


Resim 3.12. Uses (kullanım alanları) result (sonuç ekranı)

a: Seçili opsiyonlar neticesinde önerilen malzemeler

b: İlgili malzemenin sağladığı seçili opsiyon sayısı

c: Önerilen malzemelerin sağladığı opsiyon sayısı



Resim 3.13. Uses (kullanım alanları) kriteri ekranı opsiyon seçimi

Örnek bir uygulama olarak Resim 3.13' te "a" seçili kullanım alanlarını göstermektedir. Seçimler neticesinde erişilen malzemeler Results (Sonuçlar) ekranında listelenmiştir (Resim 3. 14).

The screenshot shows the 'USES-MATERIALS(REULTS)' interface with a list of materials and their associated application categories. A red box highlights the 'DuraForm® FR 100' material and its application categories, with a red arrow labeled 'a' pointing to it. A red box labeled 'b' highlights the 'NUMBER OF OPTIONS PROVIDED' column, and a red arrow labeled 'c' points to the 'Electrical/Electronic Applications' category.

MATERIALS:	NUMBER OF OPTIONS PROVIDED:
• DuraForm® FR 100	2
Computer Components	1
Electrical/Electronic Applications	1
• 3SP™ White	1
Electrical/Electronic Applications	1
• Ultrafuse Z PCTG	1
Electrical/Electronic Applications	1
• TangoBlackPlus™ FLX980	1
Electrical/Electronic Applications	1
• Accura© 48HTR	1
Electrical/Electronic Applications	1
• VisiJet® M3 Hi-Cast	1
Electrical/Electronic Applications	1

Resim 3.14. Uses result (kullanım alanları sonuç ekranı)

Sonuç ekranındaki alanlar:

- a: Seçili opsiyonlar neticesinde önerilen malzemeler
- b: Önerilen malzemelerin sağladığı seçili opsiyon sayısı
- c: Önerilen malzemenin sağladığı opsiyonlar

Uses (kullanım alanları) tam listesi Çizelge 3.4' te sunulmuştur:

Çizelge 3.4. Uses (kullanım alanları) kriteri içeriği

#	USES TABLE:	KULLANIM ALANLARI:
1	Additive Manufacturing (3D Printing)	Katmanlı Üretim (3D Baskı)
2	Aerospace Applications	Havacılık Uygulamaları
3	Agricultural Applications	Tarımsal Uygulamalar
4	Aircraft Applications	Uçak Uygulamaları
5	Appliance Components	Cihaz Bileşenleri
6	Appliances	Aletler
7	Automotive Applications	Otomotiv Uygulamaları
8	Automotive Bumper	Otomotiv Tamponu
9	Automotive Electronics	Otomotiv Elektroniği
10	Automotive Instrument Panel	Otomotiv Gösterge Paneli
11	Automotive Interior Parts	Otomotiv İç Parçaları
12	Automotive Interior Trim	Otomotiv İç Döşeme
13	Automotive Under the Hood	Otomotiv (Kapotun Altı)
14	Battery Cases	Pil Kılıfları
15	Bearings	Rulmanlar
16	Bi-axially Oriented Film	Çift Eksenli Yönlendirilmiş Film
17	Bottles	Şişeler
18	Cell Phones	Cep telefonları
19	Coating Applications	Kaplama Uygulamaları
20	Computer Components	Bilgisayar Bileşenleri
21	Connectors	Konnektörler
22	Construction Applications	İnşaat Uygulamaları
23	Consumer Applications	Tüketici Uygulamaları
24	Containers	Konteynerler
25	Decorative Parts	Dekoratif Parçalar
26	Dental Applications	Dental Uygulamalar
27	Electrical Housing	Elektrik Muhafazası
28	Electrical Parts	Elektriksel Parçalar
29	Electrical/Electronic Applications	Elektrik/Elektronik Uygulamaları
30	Energy Storage	Enerji Depolama

Çizelge 3.4. (devam) Uses (kullanım alanları) kriteri içeriği

#	USES TABLE:	KULLANIM ALANLARI:
31	Engineered Applications	Mühendislik Uygulamaları
32	Engineering Parts	Mühendislik Parçaları
33	Fasteners	Bağlantı Elemanları
34	Filaments	Filamentler
35	Film	Film
36	Fittings	Bağlantı Parçaları
37	Flexible Grips	Esnek Saplar
38	Food Packaging	Yemek Paketleme
39	Footwear	Ayakkabı
40	Gaskets	Contalar
41	Gears	Dişliler
42	General Purpose	Genel Amaçlı
43	Handles	Kulplar
44	High Temperature Applications	Yüksek Sıcaklık Uygulamaları
45	Hose	Hortum
46	Household Goods	Ev Eşyaları
47	Housings	Konutlar
48	Industrial Applications	Endüstriyel Uygulamalar
49	Industrial Parts	Endüstriyel Parçalar
50	Jewelry	Mücevher ve Takı
51	Knobs	Düğmeler/Butonlar
52	Labware	Laboratuvar Gereçleri
53	Laser Direct Structuring	Lazer ile Doğrudan Yapılandırma
54	Lenses	Lenster
55	Lighting Applications	Aydınlatma Uygulamaları
56	Lighting Fixtures	Aydınlatma Armatürleri
57	Living Hinges	Yaşayan (Esnek-Yekpare) Menteşeler
58	Machine/Mechanical Parts	Makine/Mekanik Parçalar
59	Marine Applications	Denizcilik Uygulamaları
60	Medical Devices	Tıbbi Cihazlar
61	Medical Packaging	Tıbbi Ambalaj
62	Medical/Healthcare Applications	Tıbbi/Sağlık Uygulamaları
63	Metal Replacement	Metal Yedek Parça
64	Mining Applications	Madencilik Uygulamaları
65	Modeling Material	Modelleme Malzemesi
66	Mold Making	Kalıp İmalatı
67	Molds/Dies/Tools	Kalıp/ Takım
68	Monofilaments	Monofilamentler

Çizelge 3.4. (devam) Uses (kullanım alanları) kriteri içeriği

#	USES TABLE:	KULLANIM ALANLARI:
69	Non-specific Food Applications	Spesifik Olmayan Gıda Uygulamaları
70	Oil/Gas Applications	Petrol/Gaz Uygulamaları
71	Optical Applications	Optik Uygulamalar
72	Outdoor Applications	Dış Mekan Uygulamaları
73	Overmolding	Çok Bileşenli Kalıplama
74	Pacifiers	Emzikler
75	Packaging	Ambalajlama
76	Patterns	Modeller
77	Pharmaceutical Packaging	İlaç Ambalajı
78	Pharmaceuticals	Tıbbi Ürünler
79	Piping	Boru Tesisatı
80	Plumbing Parts	Sıhhi Tesisat Parçaları
81	Power/Other Tools	Güç/Diğer Araçlar
82	Prosthetics	Protez
83	Protective Coverings	Koruyucu Kaplamalar
84	Prototyping	Prototipleme
85	Pump Parts	Pompa Parçaları
86	Rubber Replacement	Kauçuk Değişirme (max. ağırlık tasarrufu için kauçuk yerine plastik kullanım)
87	Seals	Contalar
88	Smart Devices	Akıllı cihazlar
89	Soft Touch Applications	Yumuşak Dokunmatik Uygulamaları
90	Sporting Goods	Spor Malzemeleri
91	Structural Parts	Yapısal Parçalar
92	Telecommunications	Telekomünikasyon
93	Thermoforming Applications	Termoform Uygulamaları
94	Thick-walled Parts	Kalın Duvarlı Parçalar
95	Thin-walled Parts	İnce Duvarlı Parçalar
96	Tooling	Takım
97	Toys	Oyuncaklar
98	Transparent or Translucent Parts	Şeffaf veya Yarı Saydam Parçalar
99	Transparent Parts	Şeffaf Parçalar
100	Tubing	Borular
101	Valves/Valve Parts	Vanalar/Vana Parçaları
102	Wheels	Tekerlekler

Appearance (Dış görünüş)

Appearance (Dış görünüş) kriter ekranı aşağıdaki gibidir (Resim 3.15):

The screenshot shows the 'Appearance (Dış görünüş)' selection screen. The 'APPEARANCE' section is a grid of options, and the 'MATERIALS' section is a table of material options. Red arrows labeled 'a' through 'f' point to specific elements on the screen.

MATERIALS:	NUMBER OF OPTIONS PROVIDED:
ABSplust P430	2
Blue	1
Red	1
Perfactory© E-Shell 30	2
Blue	1
Red	1
Stratasys ABS-M30	2
Blue	1
Red	1
DuraForm© Flex	2
Blue	1
Red	1
VisiJet® PXL	2
Blue	1
Red	1
VisiJet® M3 Procast	1
Blue	1
VeroGray™ RGD850	1
Grey	1

Resim 3.15. Appearance (dış görünüş) ekranı

Ekran görselindeki kısımlar aşağıdaki gibidir:

- a: APPEARANCE (DIŞ GÖRÜNÜŞ) Seçim Paneli
- b: Kullanıcının Seçim Paneli' nden seçtiği opsiyonlar
- c: Opsiyonlar neticesinde raporlanan malzemeler
- d: Raporlanan malzemelerin sağladığı seçili opsiyonlar
- e: Raporlanan malzemenin sağladığı opsiyon sayısı
- f: CLEAR: Seçim tablosunun temizlenmesini sağlar

Bu kriter başlığında malzeme dış görünüşüne göre malzeme seçimi yapılır. Kullanıcı "APPEARANCE (DIŞ GÖRÜNÜŞ) Seçim Paneli" nden (a), seçim gerçekleştirilir (b).

Kullanıcı seçimleri neticesinde aday malzemeler listelenir (c), aday malzemelerinin hemen altında ilgili malzemenin sahip olduğu seçili opsiyonlar listelenir (d). Listenin sağ kısmından malzemenin sağladığı seçili opsiyon sayısı listelenmektedir (e).

Kullanıcı listelenen malzemeler arasından final değerlendirmesine dahil edeceği malzemeleri “NOTEPAD” e ekler.

Appearance (dış görünüş) kriteri seçim opsiyonları Çizelge 3.5’te listelenmiştir:

Çizelge 3.5. Appearance (dış görünüş) seçim opsiyonları

#	APPEARENCE:	DIŞ GÖRÜNÜŞ:	#	APPEARENCE:	DIŞ GÖRÜNÜŞ:
1	Aluminum	Alüminyum	20	Light Blue	Açık Mavi
2	Amber	Kehribar	21	Light Brown	Açık Kahverengi
3	Beige	Bej	22	Light Color	Açık Renk
4	Black	Siyah	23	Light Green	Açık Yeşil
5	Blue	Mavi	24	Matte Finish	Mat Kaplama
6	Blue-Green	Mavi-Yeşil	25	Natural Color	Doğal Renkli
7	Brown	Kahverengi	26	Off-White	Kırık Beyaz
8	Clear - Blue Tint	Açık - Mavi Renk Tonu	27	Opaque	Opak
9	Clear Amber	Açık Kehribar	28	Orange	Turuncu
10	Clear/Transparent	Açık/Şeffaf	29	Pink	Pembe
11	Colors Available	Geniş Renk Seçeneği	30	Purple	Mor
12	Cream	Krem	31	Red	Kırmızı
13	Dark Green	Koyu Yeşil	32	Silver	Gümüş
14	Dark Grey	Koyu Gri	33	Tan	Bronz
15	Gold	Altın	34	Translucent	Yarı Saydam
16	Green	Yeşil	35	Transparent - Slight Yellow	Şeffaf - Açık Sarı
17	Grey	Gri	36	White	Beyaz
18	Ivory	Fildişi	37	Yellow	Sarı

Forms (malzeme formu)

Forms (malzeme formu) kriterinde Resim 3.16' daki ekran kullanıcıyı karşılar:

MATERIALS:	NUMBER OF OPTIONS PROVIDED:
Ingeot 4043D	2
Filament	1
Pellets	1
LUVOCOM® 3F PEEK 9581 NT	2
Filament	1
Pellets	1
LUVOCOM® 3F PET CF 9780 BK	2
Filament	1
Pellets	1
Ultrafuse PLA	1
Filament	1
Ingeot 3D870	1
Pellets	1
Ultrafuse TPU 85A	1
Filament	1
KetaSpire® MS NT1 AM Filament	1
Filament	1
KetaSpire® CF10 LS1 AM Filament	1
Filament	1
KetaSpire® NT1 HC AM Filament	1
Filament	1
Ultrafuse rPET	1
Filament	1

Resim 3.16. Forms (malzeme formu) ekranı

Ekran görselindeki kısımlar aşağıdaki gibidir:

- a: Forms (malzeme formu) Seçim Paneli
- b: Kullanıcının Seçim Paneli' nden seçtiği opsiyonlar
- c: Opsiyonlar neticesinde raporlanan malzemeler
- d: Raporlanan malzemelerin sağladığı seçili opsiyonlar
- e: Raporlanan malzemenin sağladığı opsiyon sayısı
- f: CLEAR: Seçim tablosunun temizlenmesini sağlar

Bu kriter başlığında malzeme tercihi malzeme formuna göre yapılır. Kullanıcı "FORMS (MALZEME FORMU)" Seçim Paneli' nden (a), seçimlerini gerçekleştirir (b). Seçili opsiyonlara göre aday malzemeler listelenir (c), aday malzemelerinin hemen altında ilgili

malzemenin sahip olduğu seçili opsiyonlar listelenir (d). Listenin sağ kısmından malzemenin sağladığı seçili opsiyon sayısı listelenmektedir (e).

Kullanıcı listelenen malzemeler arasında final değerlendirmesine dahil edeceği malzemeleri “NOTEPAD” e ekler.

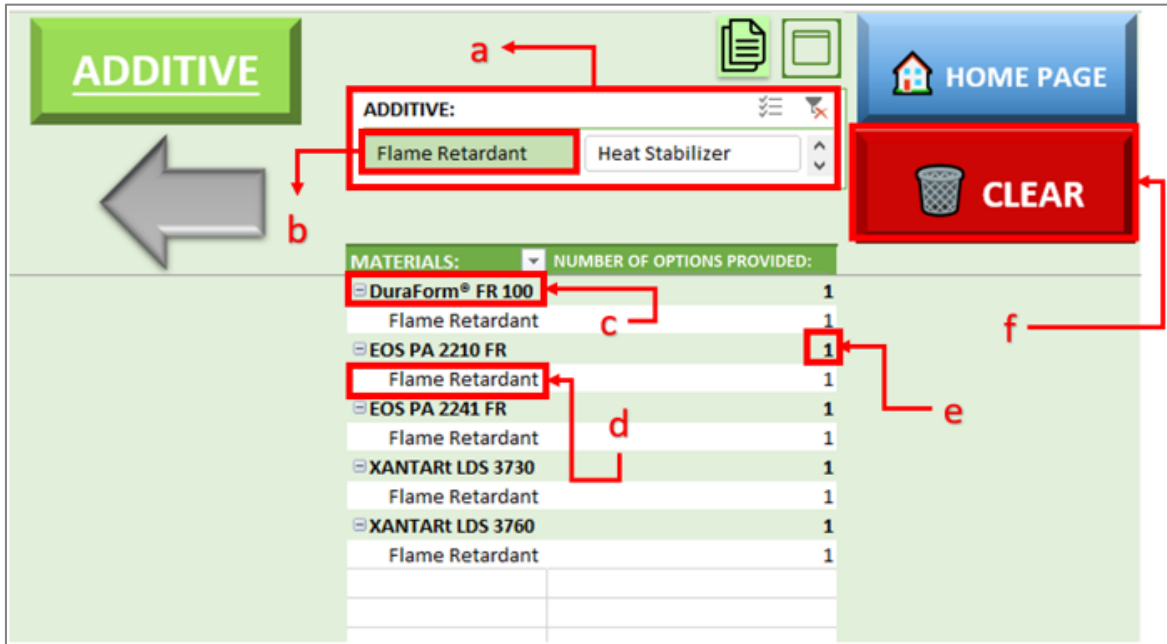
FORMS (MALZEME FORMU) kriteri Seçim Paneli’ ndeki seçim opsiyonlar Çizelge 3.6’ daki gibidir:

Çizelge 3.6. Forms (malzeme formu) seçim opsiyonları

#	FORMS:	MALZEME FORMU:
1	Filament	Filament
2	Liquid	Sıvı
3	Pellets	Tanecik
4	Powder	Toz

Additive (malzeme katkısı)

Additive (malzeme katkısı) kriteri ekranı (Resim 3.17) aşağıdaki gibidir:



Resim 3.17. Additive (malzeme katkısı) ekranı

Ekran görselindeki kısımlar aşağıdaki gibidir:

- a: Additive (malzeme katkısı) Seçim Paneli
- b: Kullanıcının Seçim Paneli' nden seçtiği opsiyonlar
- c: Opsiyonlar neticesinde raporlanan malzemeler
- d: Raporlanan malzemelerin sağladığı seçili opsiyonlar
- e: Raporlanan malzemenin sağladığı opsiyon sayısı
- f: CLEAR: Seçim tablosunun temizlenmesini sağlar

Bu kriter başlığında seçim, “malzeme katkısı” na göre gerçekleştirilir. Kullanıcı “Additive (malzeme katkısı)” Seçim Paneli' nden (a), seçimlerini gerçekleştirir (b). Seçili opsiyonlara göre aday malzemeler listelenir (c), aday malzemelerinin hemen altında ilgili malzemenin sahip olduğu seçili opsiyonlar listelenir (d). Listenin sağ kısmından malzemenin sağladığı seçili opsiyon sayısı listelenmektedir (e).

Kullanıcı listelenen malzemeler arasından final değerlendirmesine dahil edeceği malzemeleri “NOTEPAD” e ekler.

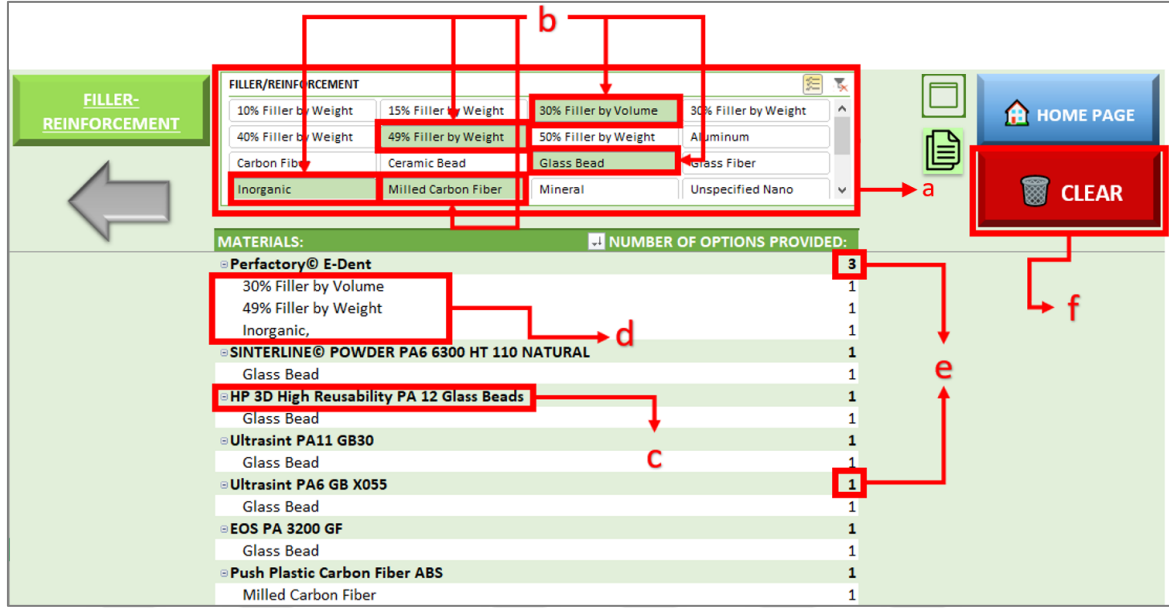
Additive (malzeme katkısı) kriteri Seçim Paneli' ndeki seçim opsiyonlar Çizelge 3.7'de listelenmiştir:

Çizelge 3.7. Additive (malzeme katkısı) seçim opsiyonları

#	ADDITIVE:	MALZEME KATKISI:
1	Flame Retardant	Alev Geciktirici
2	Heat Stabilizer	Isı Sabitleyici

Filler/reinforcement (dolgu-takviye yapılar)

Filler/reinforcement (dolgu-takviye yapılar) kriter ekranı (Resim 3.18) aşağıdaki gibidir:



Resim 3.18. Filler/reinforcement (dolgu-takviye yapılar) ekranı

Ekran görselindeki kısımlar aşağıdaki gibidir:

- a: Filler/reinforcement (dolgu-takviye yapılar) Seçim Paneli
- b: Kullanıcının Seçim Paneli'nden seçtiği opsiyonlar
- c: Opsiyonlar neticesinde raporlanan malzemeler
- d: Raporlanan malzemelerin sağladığı seçili opsiyonlar
- e: Raporlanan malzemenin sağladığı opsiyon sayısı
- f: CLEAR: Seçim tablosunun temizlenmesini sağlar

Bu kriter başlığında değerlendirme, malzemenin dolgu ve takviye yapılarına göre gerçekleştirilir. Kullanıcı "Filler/reinforcement (dolgu-takviye yapılar) Seçim Paneli"nden (a), seçimlerini gerçekleştirilir (b). Kullanıcı seçimleri neticesinde aday malzemeler listelenir (c), aday malzemelerinin hemen altında ilgili malzemenin sahip olduğu seçili opsiyonlar listelenir (d). Listenin sağ kısmından malzemenin sağladığı seçili opsiyon sayısı listelenmektedir (e).

Kullanıcı listelenen malzemeler arasından final değerlendirmesine dahil edeceği malzemeleri "NOTEPAD" e ekler.

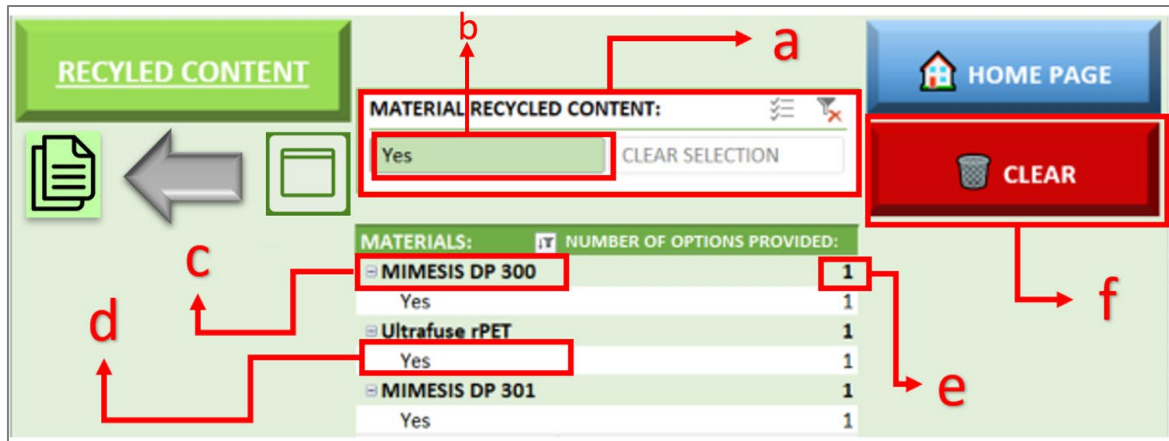
Filler/reinforcement (dolgu-takviye yapılar) Seçim Paneli kriteri Seçim Paneli'ndeki seçim opsiyonlar Çizelge 3.8' deki gibidir:

Çizelge 3.8. Filler/reinforcement (dolgu-takviye yapılar) seçim opsiyonları

#	FILLER-REINFORCEMENT:	DOLGU-TAKVİYE YAPILAR
1	10% Filler by Weight	Ağırlıkça %10 Dolgu
2	15% Filler by Weight	Ağırlıkça %15 Dolgu
3	30% Filler by Volume	Hacimce %30 Dolgu
4	30% Filler by Weight	Ağırlıkça %30 Dolgu
5	40% Filler by Weight	Ağırlıkça %40 Dolgu
6	49% Filler by Weight	Ağırlıkça %49 Dolgu
7	50% Filler by Weight	Ağırlıkça %50 Dolgu
8	Aluminum	Alüminyum
9	Carbon Fiber	Karbon Fiber
10	Ceramic Bead	Seramik Boncuk
11	Glass Bead	Cam boncuk
12	Glass Fiber	Cam Elyaf
13	Inorganic,	İnorganik,
14	Milled Carbon Fiber	İşlenmiş Karbon Elyaf
15	Mineral	Mineral
16	Unspecified Nano	Belirtilmemiş Nano

Recycled content (geri dönüşüm durumu)

Recycled content (geri dönüşüm durumu) kriter ekranı (Resim 3.19) aşağıdaki gibidir:



Resim 3.19. Recycled content (geri dönüşüm durumu) ekranı

Ekran görselindeki kısımlar aşağıdaki gibidir:

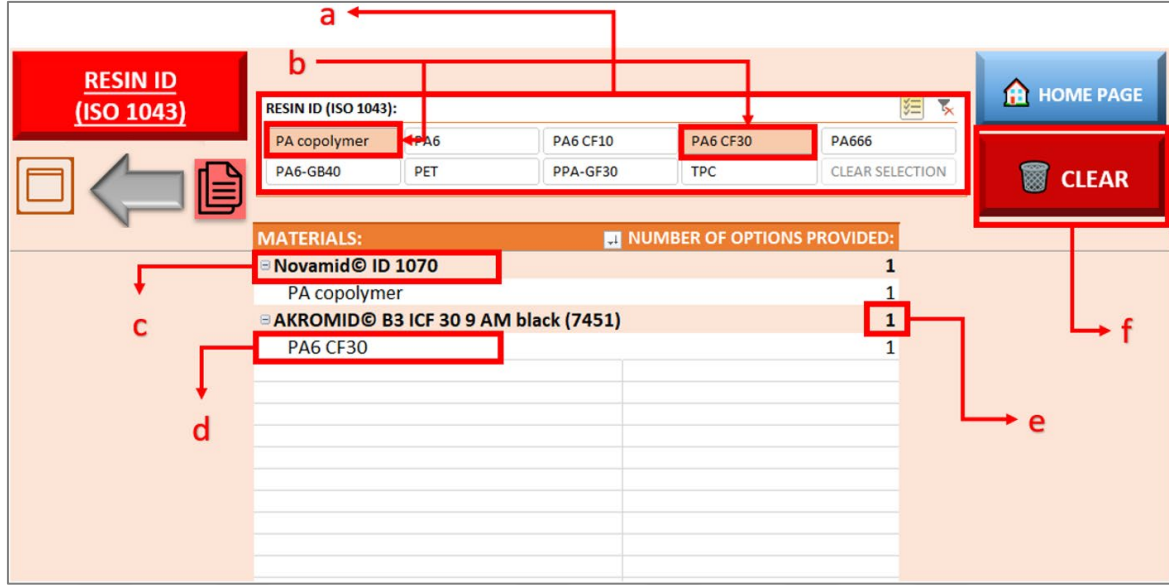
- a: Recycled content (geri dönüşüm durumu) Seçim Paneli
- b: Kullanıcının Seçim Paneli' nden seçtiği opsiyonlar
- c: Opsiyonlar neticesinde raporlanan malzemeler
- d: Raporlanan malzemelerin sağladığı seçili opsiyonlar
- e: Raporlanan malzemenin sağladığı opsiyon sayısı
- f: CLEAR: Seçim tablosunun temizlenmesini sağlar

Bu kriter başlığında kullanıcı seçim yapacağı malzemenin geri dönüştürülebilirlik durumuna göre malzeme tercihinde bulunur. Kullanıcı "RECYCLED CONTENT (GERİ DÖNÜŞÜM DURUMU) Seçim Paneli" nden (a), seçimlerini gerçekleştirir (b). Kullanıcı seçimleri neticesinde aday malzemeler listelenir (c), aday malzemelerinin hemen altında ilgili malzemenin sahip olduğu seçili opsiyonlar listelenir (d). Listenin sağ kısmından malzemenin sağladığı seçili opsiyon sayısı listelenmektedir (e).

Bu kriter, malzeme veri sayfalarındaki geri dönüştürülebilir malzemelerin tespit edilerek aday malzemelerin "NOTEPAD" e eklenmesini sağlamaktadır.

Resin ID (ISO 1043)

Resin ID (ISO 1043) kriter ekranı (Resim 3.20) aşağıdaki gibidir:



Resim 3.20. Resin ID (ISO 1043) (Resin ID (ISO 1043)) ekranı

Ekran görselindeki kısımlar aşağıdaki gibidir:

- a: Resin ID (ISO 1043) Seçim Paneli
- b: Kullanıcının Seçim Paneli'nden seçtiği opsiyonlar
- c: Opsiyonlar neticesinde raporlanan malzemeler
- d: Raporlanan malzemelerin sağladığı seçili opsiyonlar
- e: Raporlanan malzemenin sağladığı opsiyon sayısı
- f: CLEAR: Seçim tablosunun temizlenmesini sağlar

Bu kriter başlığında kullanıcı seçim yapacağı malzemenin RESIN ID (ISO 1043) sınıfına göre malzeme tercihinde bulunur. Kullanıcı “RESIN ID (ISO 1043) Seçim Paneli”nden (a), seçimlerini gerçekleştirilir (b). Kullanıcı seçimleri neticesinde aday malzemeler listelenir (c), aday malzemelerinin hemen altında ilgili malzemenin sahip olduğu seçili opsiyonlar listelenir (d). Listenin sağ kısmından malzemenin sağladığı seçili opsiyon sayısı listelenmektedir (e).

Kullanıcı listelenen malzemeler arasından final değerlendirmesine dahil edeceği malzemeleri “NOTEPAD” e ekler.

RESIN ID (ISO 1043) kriteri Seçim Paneli'ndeki seçim opsiyonlar Çizelge 3.9'daki gibidir:

Çizelge 3.9. Resin ID (ISO 1043) seçim opsiyonları

#	RESIN ID (ISO 1043):
1	PA copolymer
2	PA6
3	PA6 CF10
4	PA6 CF30
5	PA666
6	PA6-GB40
7	PET
8	PPA-GF30
9	TPC

Agency ratings (derecelendirilme puanı)

Agency ratings (derecelendirilme puanı) kriter ekranı (Resim 3.21) aşağıdaki gibidir:

The screenshot shows the 'AGENCY RATING' interface. At the top, there is a red 'AGENCY RATING' button. Below it, a table lists agency ratings with columns for 'AGENCY RATINGS:', 'FAR 25.853', 'FDA 21 CFR 177.1500', 'FDA Food Contact', 'FDA Food Contact, Unspecified Rating', 'FDA Unspecified Rating', 'ISO 10993', 'ISO 10993 Part 10', 'ISO 10993 Part 5', 'JAR 25.853', and 'NSF STD-51.1'. A red box labeled 'a' highlights the 'AGENCY RATINGS:' section. A red box labeled 'b' highlights the 'HOME PAGE' button. A red box labeled 'c' highlights the 'MATERIAL:' section. A red box labeled 'd' highlights the 'NUMBER OF OPTIONS PROVIDED:' column. A red box labeled 'e' highlights the 'ISO 10993' column. A red box labeled 'f' highlights the 'CLEAR' button.

MATERIAL:	NUMBER OF OPTIONS PROVIDED:
EOS PA 2200 Top Quality 1.0	2
EU 2002/72/EC	1
ISO 10993	1
EOS PA 2200 Speed 1.0	2
EU 2002/72/EC	1
ISO 10993	1
EOS PA 2200 Balance 1.0	2
EU 2002/72/EC	1
ISO 10993	1
EOS PA 2200 Performance 1.0	2
EU 2002/72/EC	1
ISO 10993	1
EOS PA 2200 Top Speed 1.0	2
EU 2002/72/EC	1
ISO 10993	1
KetaSpire® N11 HC AM Filament	1
ISO 10993	1
PrimePart® PLUS PA 2221	1
ISO 10993	1
Perfactory® E-Shell 300	1
ISO 10993	1
Perfactory® E-Shell 200	1
ISO 10993	1
KetaSpire® CF10 HC AM Filament	1
ISO 10993	1
Radel® MS N11 HC AM Filament	1
ISO 10993	1
EOS PA 2210 FR	1
JAR 25.853	1
EOS PA 2241 FR	1
JAR 25.853	1

Resim 3.21. Agency ratings (derecelendirilme puanı) ekranı

Ekran görselindeki kısımlar aşağıdaki gibidir:

a: Agency ratings (derecelendirilme puanı) Seçim Paneli

b: Kullanıcının Seçim Paneli'nden seçtiği opsiyonlar

- c: Opsiyonlar neticesinde raporlanan malzemeler
- d: Raporlanan malzemelerin sağladığı seçili opsiyonlar
- e: Raporlanan malzemenin sağladığı opsiyon sayısı
- f: CLEAR: Seçim tablosunun temizlenmesini sağlar

Bu kriter başlığında kullanıcı seçim yapacağı malzemenin “Agency Ratings-derecelendirilme puanı” na göre malzeme tercihinde bulunur. Kullanıcı “Agency ratings (derecelendirilme puanı) Seçim Paneli” nden (a), seçimlerini gerçekleştirilir (b). Kullanıcı seçimleri neticesinde aday malzemeler listelenir (c), aday malzemelerinin hemen altında ilgili malzemenin sahip olduğu seçili opsiyonlar listelenir (d). Listenin sağ kısmından malzemenin sağladığı seçili opsiyon sayısı listelenmektedir (e).

Kullanıcı listelenen malzemeler arasından final değerlendirmesine dahil edeceği malzemeleri “NOTEPAD” e ekler.

Agency ratings (derecelendirilme puanı) kriteri Seçim Paneli’ ndeki seçim opsiyonlar Çizelge 3.10’daki gibidir:

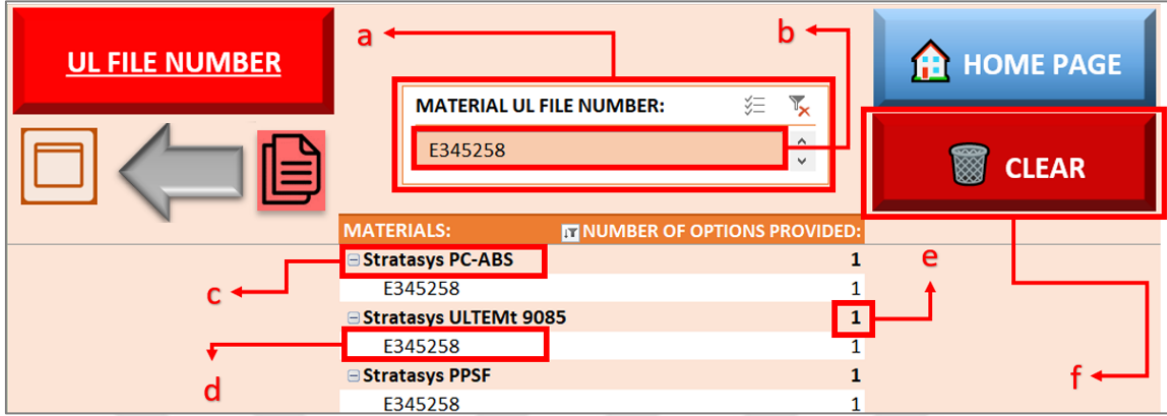
Çizelge 3.10. Agency ratings (derecelendirilme puanı) seçim opsiyonları

#	AGENCY RATINGS:
1	EC 1907/2006 (REACH)
2	EU 10/2011
3	EU 2002/72/EC
4	EU 93/42/EEC
5	FAR 25.853
6	FDA 21 CFR 177.1500
7	FDA Food Contact
8	FDA Food Contact, Unspecified Rating
9	FDA Unspecified Rating
10	ISO 10993
*11	ISO 10993
12	ISO 10993 Part 10
13	ISO 10993 Part 5
14	JAR 25.853
*15	NSF STD-51
16	UL 94
17	Unspecified Rating
18	USP Class VI

Not:: * : ULTEM 1010 sertifikalı

UL File number (UL dosya numarası)

UL File number (UL dosya numarası) kriteri ekranı (Resim 3.22) aşağıdaki gibidir:



Resim 3.22. UL File number (UL dosya numarası) kriter ekranı

Ekran görselindeki kısımlar aşağıdaki gibidir:

- a: UL File number (UL dosya numarası) Seçim Paneli
- b: Kullanıcının Seçim Paneli' nden seçtiği opsiyonlar
- c: Opsiyonlar neticesinde raporlanan malzemeler
- d: Raporlanan malzemelerin sağladığı seçili opsiyonlar
- e: Raporlanan malzemenin sağladığı opsiyon sayısı
- f: CLEAR: Seçim tablosunun temizlenmesini sağlar

Bu kriter başlığında veri tabanında UL File Number değeri belirtilen malzemeler ile ilgili arama gerçekleştirilir. Kullanıcı "UL FILE NUMBER (UL DOSYA NUMARASI) Seçim Paneli" nden (a), seçimlerini gerçekleştirilir (b). Kullanıcı seçimleri neticesinde aday malzemeler listelenir (c), aday malzemelerinin hemen altında ilgili malzemenin sahip olduğu seçili opsiyonlar listelenir (d). Listenin sağ kısmından malzemenin sağladığı seçili opsiyon sayısı listelenmektedir (e).

Kullanıcı listelenen malzemeler arasından final değerlendirmesine dahil edeceği malzemeleri "NOTEPAD" e ekler.

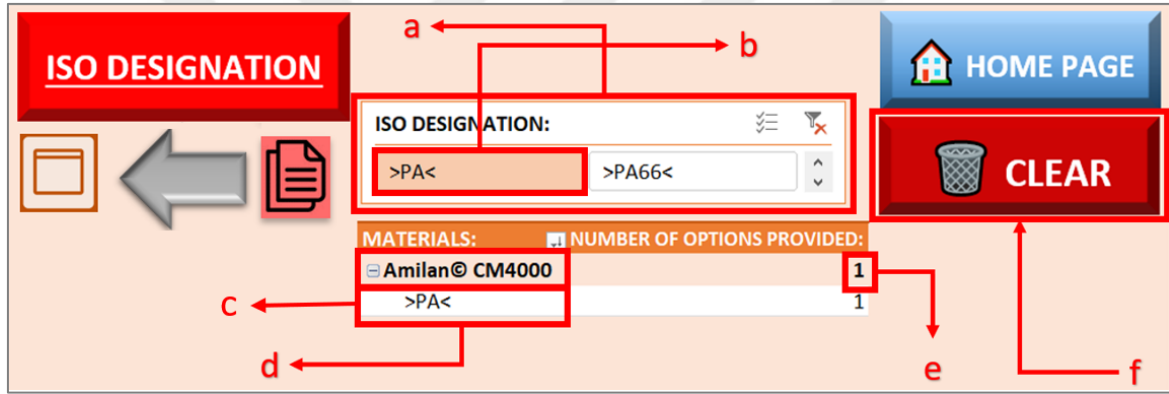
UL FILE NUMBER (UL DOSYA NUMARASI) kriteri Seçim Paneli' ndeki seçim opsiyonu Çizelge 3.11' deki gibidir:

Çizelge 3.11. UL File number (UL dosya numarası) seçim opsiyonları

#	UL FILE NUMBER:
1	E345258

ISO Designation (ISO tanımı)

ISO Designation (ISO tanımı) kriter ekranı aşağıdaki gibidir:



Resim 3.23. ISO Designation (ISO tanımı) kriter ekranı

Ekran görselindeki kısımlar aşağıdaki gibidir:

- a: ISO Designation (ISO tanımı) Seçim Paneli
- b: Kullanıcının Seçim Paneli' nden seçtiği opsiyonlar
- c: Opsiyonlar neticesinde raporlanan malzemeler
- d: Raporlanan malzemelerin sağladığı seçili opsiyonlar
- e: Raporlanan malzemenin sağladığı opsiyon sayısı
- f: CLEAR: Seçim tablosunun temizlenmesini sağlar

Bu kriter başlığında veri tabanında ISO DESIGNATION (ISO TANIMI) tanımı belirtilen malzemeler ile ilgili arama gerçekleştirilir. Kullanıcı "ISO DESIGNATION (ISO TANIMI) Seçim Paneli" nden (a), seçimlerini gerçekleştirir (b). Kullanıcı seçimleri neticesinde aday

malzemeler listelenir (c), aday malzemelerinin hemen altında ilgili malzemenin sahip olduğu seçili opsiyonlar listelenir (d). Listenin sağ kısmından malzemenin sağladığı seçili opsiyon sayısı listelenmektedir (e).

Kullanıcı listelenen malzemeler arasından final değerlendirmesine dahil edeceği malzemeleri “NOTEPAD” e ekler.

ISO DESIGNATION (ISO TANIMI) kriteri Seçim Paneli’ ndeki seçim opsiyonları Çizelge 3.12’deki gibidir:

Çizelge 3.12. ISO Designation (ISO tanımı) seçim opsiyonları

#	ISO DESIGNATION:
1	>PA<
2	>PA66<

RoHS compliance (RoHS uyumluluk)

RoHS COMPLIANCE (RoHS UYUMLULUK) kriter ekranı (Resim3.24) aşağıdaki gibidir:

The screenshot displays the RoHS COMPLIANCE selection panel. At the top left, there is a red header with the text 'RoHS COMPLIANCE'. Below it, there is a search bar with the text 'RoHS COMPLIANCE:' and a dropdown menu showing 'Contact Manufacturer' and 'RoHS Compliant'. To the right of the search bar is a 'HOME PAGE' button. Below the search bar is a 'CLEAR' button. The main area shows a list of materials with their RoHS compliance status and the number of options provided. The list is as follows:

MATERIALS:	NUMBER OF OPTIONS PROVIDED:
HP 3D High Reusability PA 12	1
RoHS Compliant	1
NinjaFlex Filament	1
RoHS Compliant	1
SINTERLINE® POWDER PA6 3400 HT 110 N	1
RoHS Compliant	1
SINTERLINE® POWDER PA6 6300 HT 110 N	1
RoHS Compliant	1

Resim 3.24. RoHS compliance (RoHS uyumluluk) ekranı

Ekran görselindeki kısımlar aşağıdaki gibidir:

a: RoHS COMPLIANCE (RoHS UYUMLULUK) Seçim Paneli

- b: Kullanıcının Seçim Paneli' nden seçtiği opsiyonlar
- c: Opsiyonlar neticesinde raporlanan malzemeler
- d: Raporlanan malzemelerin sağladığı seçili opsiyonlar
- e: Raporlanan malzemenin sağladığı opsiyon sayısı
- f: CLEAR: Seçim tablosunun temizlenmesini sağlar

Bu kriter başlığı, “RoHS Uyumluluk” durumuna göre malzeme tercihi olanağı sağlar. Kullanıcı “RoHS COMPLIANCE (RoHS UYUMLULUK)” Seçim Paneli' nden (a), seçimlerini gerçekleştirir (b). Seçili opsiyonlara göre aday malzemeler listelenir (c), aday malzemelerinin hemen altında ilgili malzemenin sahip olduğu seçili opsiyonlar listelenir (d). Listenin sağ kısmından malzemenin sağladığı seçili opsiyon sayısı listelenmektedir (e).

Kullanıcı listelenen malzemeler arasından final değerlendirmesine dahil edeceği malzemeleri “NOTEPAD” e ekler.

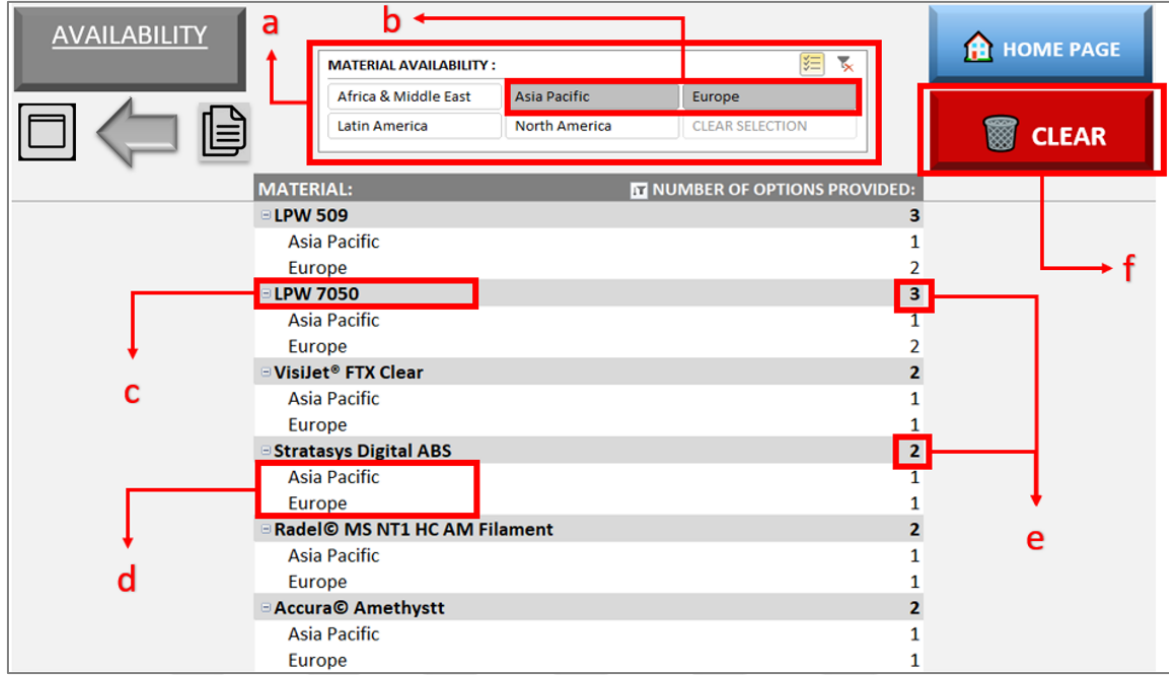
RoHS COMPLIANCE (RoHS UYUMLULUK) kriteri Seçim Paneli' ndeki seçim opsiyonlar Çizelge 3.13' te listelenmiştir:

Çizelge 3.13. RoHS compliance (RoHS uyumluluk) seçim opsiyonları

#	RoHS COMPLIANCE	RoHS UYUMLULUK
1	RoHS Compliant	RoHS Uyumlu
2	Contact Manufacturer	Üreticiyle İrtibat Kurun

Availability (temin edilebilirlik)

AVAILABILITY (TEMİN EDİLEBİLİRLİK) kriter ekranı (Resim 3.25) aşağıdaki gibidir:



Resim 3.25. Availability (temin edilebilirlik) ekranı

Ekran görselindeki kısımlar aşağıdaki gibidir:

- a: AVAILABILITY (TEMİN EDİLEBİLİRLİK) Seçim Paneli
- b: Kullanıcının Seçim Paneli' nden seçtiği opsiyonlar
- c: Opsiyonlar neticesinde raporlanan malzemeler
- d: Raporlanan malzemelerin sağladığı seçili opsiyonlar
- e: Raporlanan malzemenin sağladığı opsiyon sayısı
- f: CLEAR: Seçim tablosunun temizlenmesini sağlar

Bu kriter başlığında kullanıcıya malzemelerin temin edilebildiği kıtaları içeren bir seçim paneli sunulur. Kullanıcı bu kriter başlığında malzeme tercihi yaparken; malzeme özellikleri ve mühendislik uygulamalarının dışında temin edilebilirlik ve lojistik olanaklar çerçevesinde değerlendirir.

Kullanıcı “AVAILABILITY (TEMİN EDİLEBİLİRLİK) Seçim Paneli” nden (a), seçimlerini gerçekleştirilir (b). Kullanıcı seçimleri neticesinde aday malzemeler listelenir (c), aday malzemelerinin hemen altında ilgili malzemenin sahip olduğu seçili opsiyonlar listelenir (d). Listenin sağ kısmından malzemenin sağladığı seçili opsiyon sayısı listelenmektedir (e).

Kullanıcı listelenen malzemeler arasından final değerlendirmesine dahil edeceği malzemeleri “NOTEPAD” e ekler.

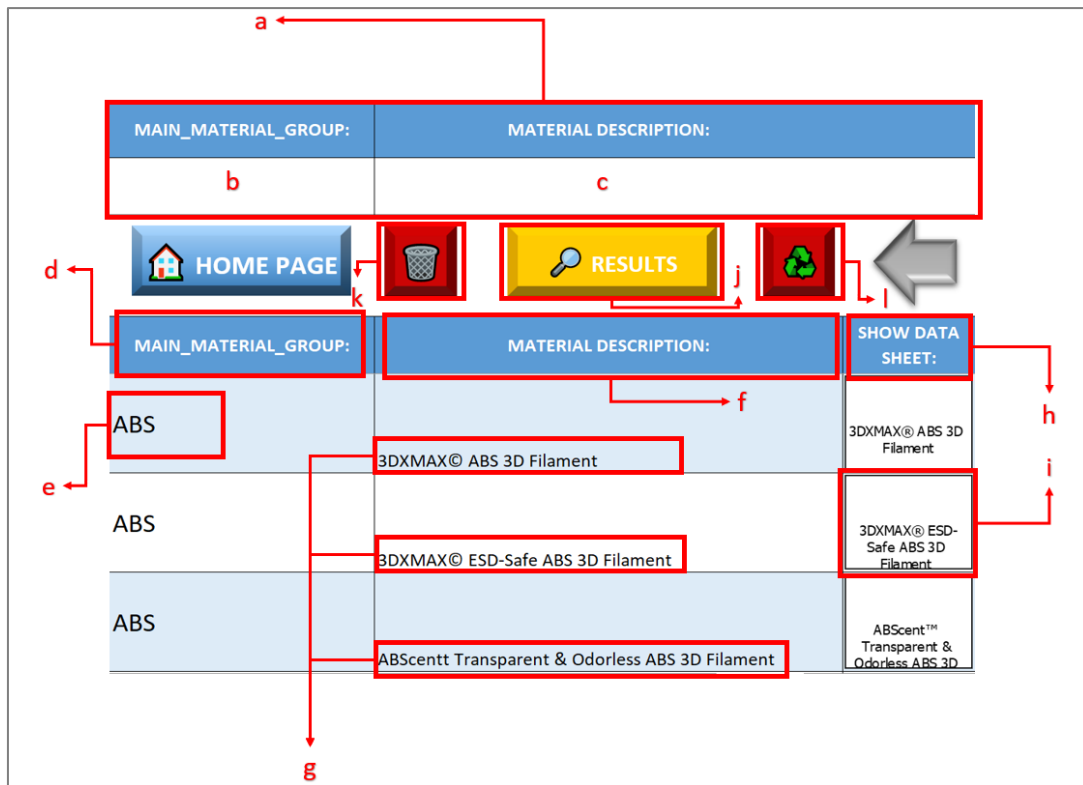
AVAILABILITY (TEMİN EDİLEBİLİRLİK) kriteri Seçim Paneli’ ndeki seçim opsiyonları Çizelge 3.14’ deki gibidir:

Çizelge 3.14. Availability (temin edilebilirlik) seçim opsiyonları

#	AVAILABILITY	TEMİN EDİLEBİLİRLİK
1	Europe	Avrupa
2	North America	Kuzey Amerika
3	Africa & Middle East	Afrika ve Orta Doğu
4	Asia Pacific	Asya Pasifik
5	Latin America	Latin Amerika

Malzeme veri sayfaları ekranı (material data sheets)

MATERIAL DATA SHEETS (MALZEME VERİ SAYFALARI) ekranı Resim 3.26’ daki gibidir:



Resim 3.26. Material data sheets (malzeme veri sayfaları) ekranı

Ekran görselindeki kısımlar aşağıdaki gibidir:

- a: Malzeme Veri Sayfası Arama Çubuğu
- b: Arama Çubuğu Alanı-Main Material Group (Temel Malzeme Grubu)
- c: Arama Çubuğu Alanı-Material Description (Malzeme Tanımı)
- d: Main Material Group (Temel Malzeme Grubu): Bu sütun altında temel malzeme grupları listelenir.
- e: Temel malzeme grupları
- f: Material Description (Malzeme Tanımı): Bu sütun altında malzemeler listelenir.
- g: Listelenen malzemeler
- h: SHOW DATA SHEET(VERİ SAYFALARINI GÖSTER): Veri sayfaları bu sütun altında listelenir.
- i: Malzeme sertifikaları
- j: RESULT(SONUÇ) Butonu: Veri Sayfası Arama Çubuğu'na yazılan temel malzeme grubu ve malzeme için arama yapılmasını sağlar.
- k: ÇÖP KUTUSU İKONU: Malzeme Veri Sayfası Arama Çubuğu' na yazılan aramayı temizler
- l: YENİLE BUTONU: Arama çubuğunda gerçekleştirilen arama işlemi sonucu oluşturulan filtreyi kaldırarak tüm malzeme veri sayfalarını tekrar ekrana getirir.

Bu ekranda kullanıcıya, AM GUIDE yazılımı alt yapısına kayıtlı tüm malzemelerin malzeme veri sayfalarının bulunduğu, “Malzeme Veri Sayfası Arama Çubuğu” vasıtasıyla arama yapıp istenen veri sayfasının süzülebilmesi ya da aramadan bağımsız liste üzerinden malzeme veri sayfalarının incelenebilmesi imkanı sağlayan bir portal sunulmuştur.

MATERIAL DATA SHEETS (MALZEME VERİ SAYFALARI) ekranında UL Prospector veri tabanından çekilip dizgilenen, AM GUIDE yazılımına kayıtlı 401 malzeme için malzeme veri sayfası içeriği paylaşılmıştır.

MATERIAL DATA SHEETS (MALZEME VERİ SAYFALARI) ekranı, temelde kullanıcının “NOTEPAD” e kaydettiği aday malzemelere ait malzeme özelliklerinin incelenip, tasarım ve imalat süreçlerinde kullanılması düşünülen nihai malzeme veya malzemelerin belirlenmesinde nihai kullanıcı kararı ekranı olarak tasarlanmıştır. Bunlara ek olarak ekran, malzeme seçiminden bağımsız olarak eklemeli imalat proseslerinde kullanılan

malzemeler hakkında araştırma yapmak isteyen kullanıcılar için de veri tabanındaki malzeme veri havuzu çerçevesinde bir inceleme alanı sunar.

Arama aşağıdaki şekilde yapılır:

Malzeme Veri Sayfası Arama Çubuğu (a)' nda Main Material Group (Temel Malzeme Grubu) (b) ve Material Description (Malzeme Tanımı) (c) olmak üzere iki adet arama çubuğu alanı mevcuttur. Main Material Group (Temel Malzeme Grubu) (b), temel malzeme grubuna göre malzeme veri sayfalarının süzülmesini sağlar. Kullanıcı bu arama alanına Temel Malzeme Grubu (Main Material Group) girişi yaparak aramasına devam edebilir. İkinci arama çubuğu alanı olan Material Description (Malzeme Tanımı) (c); direkt olarak malzeme ismi ile arama yapılması için oluşturulmuştur. Kullanıcı bu alana malzeme veri sayfasını incelemek istediği “malzemenin ismini girmek suretiyle” arama işlemini gerçekleştirir.

Kullanıcı arama çubuğu alan/alanlarına giriş yaptıktan sonra “RESULT” butonuna (j) tıklayarak arama motorunu çalıştırır. Süzülme istenen malzeme/malzemelere ait malzeme veri sayfaları listelenir.

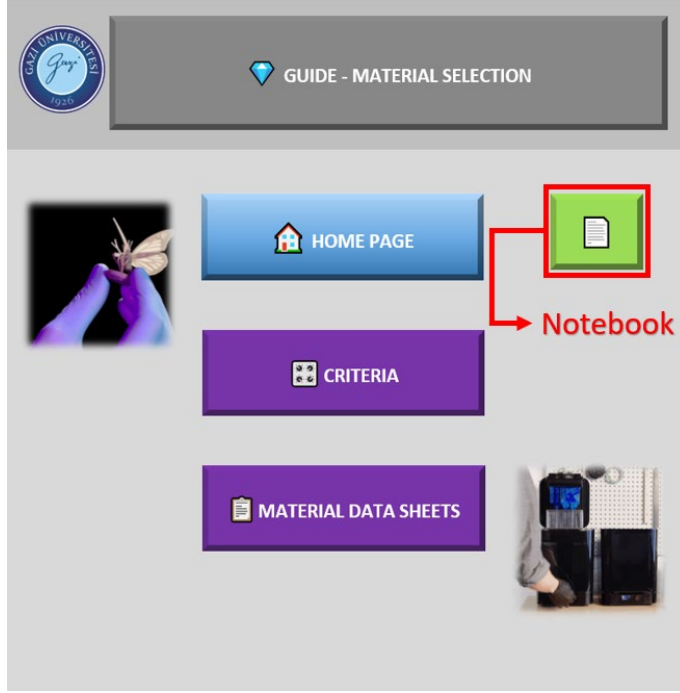
SHOW DATA SHEET (VERİ SAYFALARINI GÖSTER) başlığının altındaki sütunda malzeme veri sayfaları mevcuttur. Malzeme veri sayfalarına çift tıklamak suretiyle ilgili malzeme veri sayfası görüntülenir.

Kullanıcı, malzeme veri sayfalarından ulaştığı aday malzemelere ait fiziksel, mekanik, termal, elektriksel daha pek çok özellikleri kullanmak suretiyle tasarım ve analiz yazılımlarında simule eder. Elde ettiği tasarım modeline tanımladığı nihai malzemelerin analiz sonuçlarını değerlendirerek eklemeli imalat prosesi öncesinde nihai malzemesine karar verir.

*malzemenin ismini girmek suretiyle: Kullanıcı “veri sayfasına” nda manuel giriş ile arama yapılabileceği gibi AM GUIDE yazılımı GUIDE-MATERIAL SELECTION (MALZEME SEÇİM REHBERİ) üzerinden “NOTEPAD” e eklenen aday malzemenin bulunduğu hücrenin kopyalanıp arama çubuğuna yapıştırılması ile de arama yapılabilir.

Notepad (not defteri)

NOTEPAD (NOT DEFTERİ); kullanıcıya “GUIDE-MATERIAL SELECTION” ekranında sunulan, kullanıcının kriter ekranlarında belirlediği aday malzemeleri değerlendirebildiği analiz modülüdür.



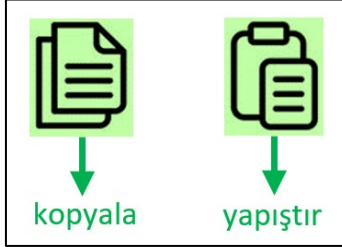
Resim 3.27. Notepad modül ekranı ikonu

Kullanıcı ikona (Resim 3.27) tıkladığında NOTEPAD (NOT DEFTERİ) modülü için yeni bir ekran açılır.

NOTEPAD (NOT DEFTERİ) modülü giriş ekranı sayfası Resim 3.29’ da paylaşılmıştır. Ekrandaki alanlar:

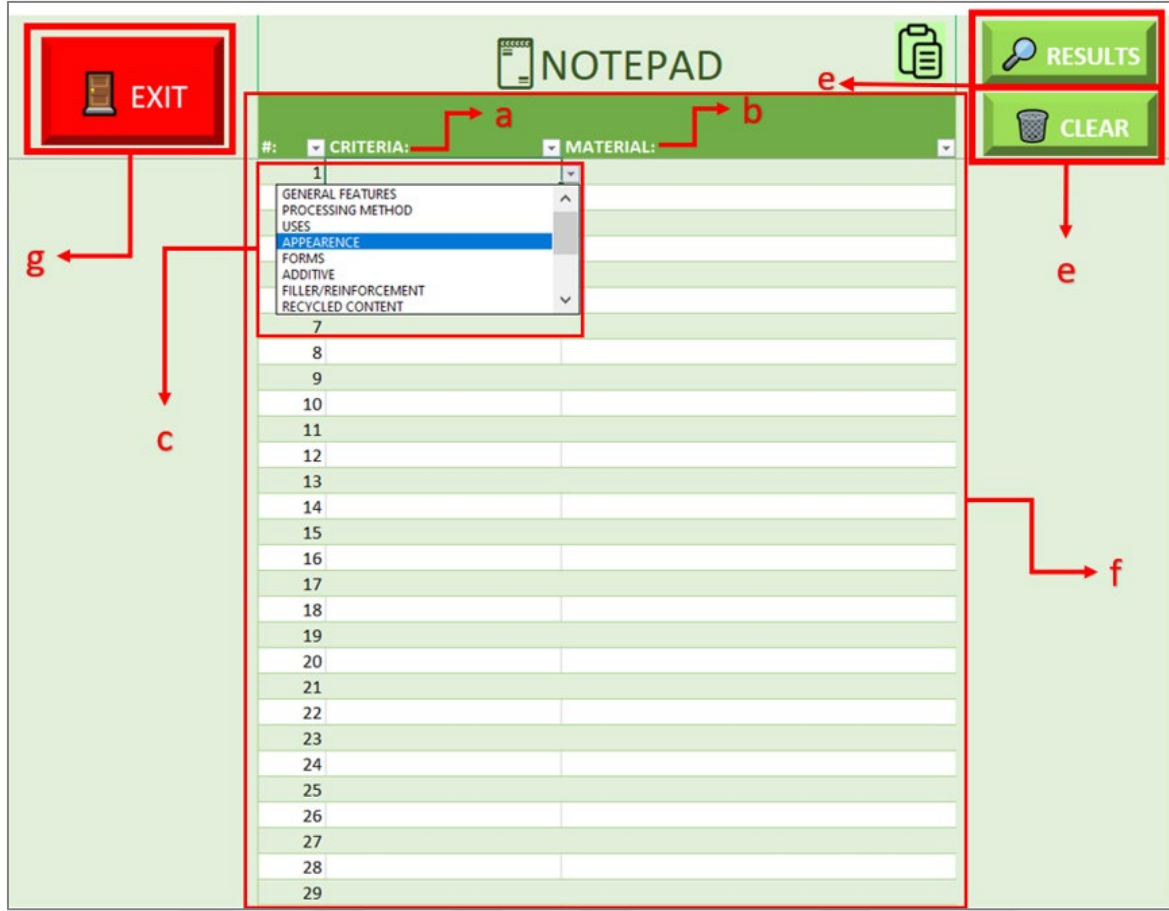
- a: “CRITERIA (KRİTERLER)” Sütunu: Bu sütun altında kullanıcının açılır listeden seçtiği malzeme seçim kriteri başlıkları listelenir.
- b: MATERIAL (MALZEME): Kullanıcı, malzeme seçim kriteri ekranlarında belirlediği aday malzemeleri bu sütun altına listeler.

Kriter ekranlarında seçilen opsiyonlara göre listelenen aday malzemeler “kopyalama ikonu” ile panoya eklenip; NOTEPAD ekranındaki “yapıştırma ikonuna” tıklanarak listeye eklenebilir. Kopyalama ve yapıştırma ikonu Resim 3.28’ de gösterilmiştir.



Resim 3.28. Kopyalama ve yapıştırma ikonu

- c: AÇILIR PENCERE-CRITERIA (KRİTERLER): Kullanıcının NOTEPAD’ e ekleyeceği aday malzemeleri seçtiği kriter ekranını işaretlediği açılır listedir.
- d: RESULT Butonu: Sonuç ekranına geçmek için kullanılan butondur. Kullanıcının aday malzemeleri eklemeyi tamamladıktan sonra sonuçları değerlendirmek için geçtiği ekrandır.
- e: CLEAR Butonu: “NOTEPAD-Aday Malzeme Listesi” ni temizlemek için kullanılır.
- f: NOTEPAD-Aday Malzeme Listesi



Resim 3.29. Notepad modül ana ekranı

NOTEPAD (NOT DEFTERİ) modülünün kullanım mantığı aşağıdaki şekilde tariflenebilir:

Kullanıcı, “CRITERIA (KRİTERLER)” sayfasında bulunan kriter ekranlarında tespit ettiği aday malzemeleri NOTEPAD-Aday Malzeme Listesi’ne ekler (Resim 3. 30).

Aday malzemenin seçildiği kriter başlığı “CRITERIA” sütunu altındaki açılır listeden seçilmek suretiyle ilgili satıra eklenir.

#:	CRITERIA:	MATERIAL:
1	GENERAL FEATURES	MALZEME C
2	GENERAL FEATURES	MALZEME G
3	GENERAL FEATURES	MALZEME K
4	GENERAL FEATURES	MALZEME V
5	GENERAL FEATURES	MALZEME Y
6	PROCESSING METHOD	MALZEME B
7	PROCESSING METHOD	MALZEME C
8	PROCESSING METHOD	MALZEME G
9	PROCESSING METHOD	MALZEME Y
10	USES	MALZEME A
11	USES	MALZEME C
12	USES	MALZEME G
13	APPEARENCE	MALZEME C
14	APPEARENCE	MALZEME G
15	APPEARENCE	MALZEME R
16	FORMS	MALZEME J
17	FORMS	MALZEME Y
18	ADDITIVE	MALZEME Y
19	FILLER/REINFORCEMENT	MALZEME G

Resim 3.30. Örnek NOTEPAD-kullanıcı tarafından doldurulan aday malzeme listesi

Aday Malzeme Listesi tamamlandıktan sonra “RESULT” ikonuna basılarak sonuç sayfası (Resim 3.31) görüntülenir.

The screenshot shows the 'RESULTS' screen with the following components:

- Back Arrow (a):** A green arrow pointing left, located on the left side of the screen.
- Material Dropdown (d):** A dropdown menu labeled 'MATERIAL:' with a clipboard icon.
- Options Dropdown (e):** A dropdown menu labeled 'NUMBER OF OPTIONS PROVIDED:' with a dropdown arrow.
- Refresh Button (b, c):** A green button with a refresh icon and the text 'REFRESH'.
- Material Group Dropdown (f):** A dropdown menu labeled 'MATERIAL GROUP:' with a list of options: Steel, Titanium, and TPA-ET.
- Main List:** A list of materials grouped by MALZEME (G, Y, C, A). Each group contains sub-items like Steel, FILLER/REINFORCEMENT, GENERAL FEATURES, PROCESSING METHOD, USES, APPEARENCE, and FORMS. A 'NUMBER OF OPTIONS PROVIDED:' column shows counts for each group.

Resim 3.31. NOTEPAD (not defteri) aday malzeme sonuç ekranı

NOTEPAD (NOT DEFTERİ) modülü giriş ekranı sayfası aşağıdaki gibidir:

- a: “GERİ” BUTONU: NOTEPAD Modül Ana Ekranı’ na geri dönme butonudur.
- b: “REFRESH” BUTONU: Aday Malzeme Listesi’nde değişiklik yapıldığında Sonuç Ekranı’ nı yenilemek için kullanılır.
- c: Aday Malzeme Sonuçları
- d: MATERIAL Sütunu: Bu sütun altında aday malzemeler ve aday malzemelerin öne çıktığı malzeme seçim kriterleri listelenir.
- e: NUMBER OF OPTIONS PROVIDED: Kullanıcının seçimleri doğrultusunda aday malzemenin sağladığı kriter başlığı sayısı bu alanda listelenir.
- F: MATERIAL GROUP BAR: Kriter ekranlarında seçili parametrelere göre “Result” ekranında listelenen malzemeleri, malzeme gruplarına göre filtrelenmesini sağlar.

Örnek uygulamaya ait Sonuç Ekranı incelendiğinde öne çıkan aday malzemeler aşağıdaki gibidir;

MALZEME G (*5):

- FILLER/REINFORCEMENT
- GENERAL FEATURES
- PROCESSING METHOD
- USES
- APPERANCE

MALZEME Y (*4):

- PROCESSING METHOD
- ADDITIVE
- GENERAL FEATURES
- FORMS

MALZEME C (*4):

- PROCESSING METHOD

- APPEARENCE
- GENERAL FEATURES
- USES

*İlgili malzemenin sağladığı kriter başlığı sayısıdır.

Listenin devamında, kullanıcının malzeme seçimi için başvurduğu kriter başlıklarının yalnızca bir tanesinde aday gösterilen malzemeler listelenmişti. Örneğin MALZEME A yalnızca USES, MALZEME B yalnızca PROCESSING METHOD, MALZEME V yalnızca GENERAL FEATURES kriter başlıklarında aday malzeme olarak gösterilmiştir.

Listede bulunan ve NUMBER OF OPTIONS PROVIDED değeri “2” den küçük olan tüm malzemelerin NUMBER OF OPTIONS PROVIDED değerleri “1” dir.

Kullanıcı, NOTEPAD-Aday Malzeme Sonuç Ekranı’ nda gerçekleştirilen değerlendirme neticesinde listede üst sırada yer alan malzemeleri tasarım ve analiz süreçlerinde değerlendirerek eklemeli imalat prosesinde kullanacağı nihai malzemeye ulaşır. Örneğin bu örnek uygulamada kullanıcı MALZEME G, MALZEME Y ve MALZEME C’ ye ait malzeme veri sayfalarına tasarım ve analiz süreçlerinde simule ederek eklemeli imalatta kullanacağı malzemeyi netleştirir.

AM GUIDE yazılımı Guide-Material Selection (malzeme seçim rehberi) arayüz ve NOTEPAD kullanımı için ipuçları

Bu kısımda AM GUIDE yazılımı GUIDE-MATERIAL SELECTION (MALZEME SEÇİM REHBERİ) ve NOTEPAD modülünün efektif şekilde kullanımı için ip uçları sunulacaktır.

Guide-material selection criteria ekranlarının kullanımı için öneriler

AM GUIDE yazılımı malzeme seçim rehberinde kullanıcıya 14 farklı kriter ekranı (Çizelge 3. 15) sunar.

Çizelge 3.15. Criteria (kriterler)

#	CRITERIA:	KRİTERLER:
1	GENERAL FEATURES	GENEL MALZEME ÖZELLİKLERİ
2	PROCESSING METHOD	İMALAT METOTLARI
3	USES	KULLANIM ALANLARI
4	APPEARENCE	DIŞ GÖRÜNÜŞ
5	FORMS	MALZEME FORMU
6	ADDITIVE	MALZEME KATKISI
7	FILLER/REINFORCEMENT	DOLGU-TAKVİYE YAPILAR
8	RECYCLED CONTENT	GERİ DÖNÜŞÜM DURUMU
9	RESIN ID (ISO 1043)	RESIN ID (ISO 1043)
10	AGENCY RATINGS	DERECELENDİRİLME
11	UL FILE NUMBER	UL DOSYA NUMARASI
12	ISO DESIGNATION	ISO TANIMI
13	RoHS COMPLIANCE	RoHS UYUMLULUK
14	AVAILABILITY	TEMİN EDİLEBİLİRLİK

Kullanıcı malzeme araştırması aşamasında tüm kriter ekranlarını kullanabileceği gibi yalnızca malzeme araştırması yapmak istediği birkaç kriter ekranında da araştırmasını gerçekleştirebilir.

Örneğin kullanıcı malzeme araştırması için yalnızca; “GENERAL FEATURES”, “PROCESSING METHOD”, “UL FILE NUMBER” ve “AVAILABILITY” kriter ekranlarında araştırmasını gerçekleştirip NOTEPAD-Aday Malzeme Listesi’ne, final değerlendirmesine dahil edeceği malzemeleri ekler.

Genel bir yaklaşım olarak; örneğin turuncu renkli kriter ekranlarında -kriter başlıklarının kapsamı nedeniyle- kullanıcı, yaptığı seçimler neticesinde malzeme veri havuzunu ciddi şekilde filtreleyerek daha küçük bir aday malzeme örnekleme ile çalışmasını sürdürür.

Buna karşın malzeme seçim sürecinde lojistik ve tedarik süreçleri ile ilgili faktörleri de dahil etmek isteyen bir kullanıcı, gri renkli kriter alanındaki “AVAILABILITY” kriter ekranından malzeme tedarik etmeyi planladığı kriterleri işaretleyerek oldukça geniş bir malzeme grubunu final değerlendirmesi için NOTEPAD-Aday Malzeme Listesi’ ne ekleyecektir.

Kriter ekranlarında sonuçların incelenmesi

AM GUIDE yazılımında temel yaklaşım; içerdiği kriter ekranlarında sunulan opsiyonlar arasından, kullanıcının tercih ettiği opsiyonlara sahip malzemelerin, sahip oldukları opsiyon sayısına göre raporlamak suretiyle aday malzeme önerilmesi şeklindedir.

Sonuç Ekranı' nı incelerken ve NOTEPAD' e aday malzemelerin aktarılması aşamalarında, daha konforlu bir deneyim sunmak amacıyla ekranların kullanıcıya sağladığı ve sonuçların değerlendirilmesini kolaylaştırıcı yöntemler mevcuttur. Resim 3.32' de örnek bir sonuç ekranını incelemek gerekirse:

MATERIALS:	PROVIDED:
• Ultrasint PA11	3
Ductile	1
Good Rigidity	1
Good Strength	1
• KetaSpire® CF10	2
Ductile	1
Good Strength	1
• CarbonResin RP	2
Good Rigidity	1
Good Strength	1
• KetaSpire® CF10	2
Ductile	1
Good Strength	1
• Stratasys PC-AB	1
Good Strength	1
• Perfactory® E-S	1
Good Strength	1
• Asiga® PlasCLE	1
Good Strength	1
• Asiga® PlasPIN	1
Good Strength	1
• Somos® 14120	1
Good Strength	1

Resim 3.32. Örnek sonuç ekranı

a: Genişlet: Seçili malzemenin daraltılmış opsiyon listesi genişleterek görünür olmasını sağlar. (Malzemelerin hemen altında, malzeme tarafından sağlanan opsiyonlar listelenir.)

- b: Daralt: Seçili malzemede genişletilmiş olarak bulunan opsiyon listesinin daraltılmasını sağlar.
- c: Alanın Tamamını Genişlet: Sonuç Ekranı'nda daraltılmış tüm opsiyon listelerinin genişletilmesini sağlar.
- d: Alanın Tamamını Daralt: Sonuç Ekranı'nda genişletilmiş olarak bulunan tüm opsiyon listelerinin daraltılmasını sağlar.

Kullanıcı, opsiyon listelerini kısmi veya genel olarak daraltarak daha genel bir inceleme yapabilirken, opsiyon listelerini genişletilmesi ile malzemelerin sahip olduğu opsiyonlar detaylı olarak incelenebilir.

Kriter sonuç ekranlarında malzemelerin notepad'e aktarılmak üzere işaretlenmesi:

Kullanıcı kriter sonuç ekranlarında listelenen aday malzemeler arasından NOTEPAD' e taşıyacağı malzemeleri işaretler, "kopyalama ikonu" ile panoya taşır, NOTEPAD-Aday Malzeme Listesi'ne ekler. Bu aşamada NOTEPAD-Aday Malzeme Listesi'ne eklenecek malzemeler seçilirken aşağıda sunulan yöntemler kullanıcıya kolaylık sağlayacaktır:

Sonuç Ekranı'nda listelenen malzemelerin kullanıcı tercihli seçimi:

Sonuç Ekranı'nda listelenen aday malzemelerden final değerlendirilmesine tabi tutulmak üzere NOTEPAD-Aday Malzeme Listesi'ne eklenmesi istenen malzemeler "Ctrl (*malzeme işaretleme sürecinde basılı kalmalı) +sol tık" ile seçilir ve kopyalanır.

MATERIALS:	NUMBER OF OPTIONS PROVIDED:
Ultrasint PA11 GB30	3
Ductile	1
Good Rigidity	1
Good Strength	1
KetaSpire® CF10 HC AM Filamen	2
Ductile	1
Good Strength	1
CarbonResin RPU 60	2
Good Rigidity	1
Good Strength	1
KetaSpire® CF10 LS1 AM Filamei	2
Ductile	1
Good Strength	1
Stratasys PC-ABS	1
Good Strength	1
Perfactory® E-Shell 200	1
Good Strength	1
Asiga® PlasCLEAR	1
Good Strength	1
Asiga® PlasPINK	1
Good Strength	1
Somos® 14120	1
Good Strength	1

Resim 3.33. Aday malzemelerin tercihli seçimi

Sonuç Ekranı'nda listelenen malzemelerin tümünün seçilmesi:

Kullanıcı Sonuç Ekranı'nda listelenen tüm aday malzemeleri NOTEPAD-Aday Malzeme Listesi'ne eklemek isteyebilir. Bu durumda kullanıcı tüm malzemeleri tek tek seçmek yerine listelenen malzemelerden herhangi birine yaklaştığında “↓” simgesi (Resim 3. 34) görünmektedir. Bu simge gözüktüğünde mouse' da“sol tık” yapılırsa listelenen tüm malzemeler seçilmiş olur.



Resim 3.34. Aday malzemelerin tümünün seçilmesi

Resim 3. 34' te, a: “↓” Listelenen malzemelerin tümünün seçilmesini sağlar.

Herhangi bir kriter ekranında listelenen tüm aday malzemeler NOTEPAD-Aday Malzeme Listesi'ne aktarılmak isteniyor olabilir. Bu durumda, mouse imleci ile sonuç ekranında listelenmiş aday malzemelerden herhangi birine yaklaşıldığında bir “↓” sembolü ortaya çıkacaktır. Bu sembol gözüktüğünde mouse ile sol tık yapılarak sonuç ekranında listelenen tüm aday malzemelerin seçilmesi ve sonrasında kopyalanması sağlanabilir.³

3.1.2. Guide-design for additive manufacturing (Eklemeli imalat için tasarım rehberi)

Bu ekranda 4 ana malzeme grubunda, 21 temel malzeme için 7 kritik eklemeli imalata yönelik tasarım değişkeni/yaklaşımı için sınır koşulları sunulmuştur. Sunulan sınır koşulları eklemeli imalata yönelik gerçekleştirilen üretilebilir tasarım modelleri için en yaygın sınır koşullarını sunmaktadır, teknolojinin gelişmesi veya özel uygulama ve projeler kapsamındaki tasarım ve imalat performanslarının önerilen sınır koşulları ötesinde de

³ Örnek olarak; kullanıcı malzeme seçimi esnasında “GENERAL FEATURES”, “USES”, “AGENCY RATINGS” kriter sayfalarında ihtiyacı dahilinde seçtiği opsiyonlara göre listelenen sonuç ekranlarından aday malzemelerini belirleyip NOTEPAD-Aday Malzeme Listesi'ne eklediği düşünülür. Bu kriterler dışında, malzeme formunun “powder (toz)” olmasını tercih etsin, kullanıcının malzeme temin-lojistik olanağı sadece Avrupa'daki tedarikçileri içersin. Bu durumda kullanıcı; “FORMS” kriter ekranından “Powder” opsiyonunda listelenen aday malzemelerin tümünü ve “AVAILABILITY” kriter ekranından “Europe” opsiyonunda listelenen tüm malzemeleri NOTEPAD-Aday Malzeme Listesi'ne eklemelidir. NOTEPAD analiz modülünde, “Aday Malzeme Sonuç Ekranı” nda final değerlendirmesi yorumlanabilir.

verimli sonuçlar vermesi mümkündür. Ekran kapsamında tasarım değişkeni önerisi verilen malzeme grubu ve malzemeler Çizelge 3.16’ da listelenmiştir.

Çizelge 3.16. Eklemeli imalata yönelik tasarım değişkeni önerisi sunulan temel malzemeler

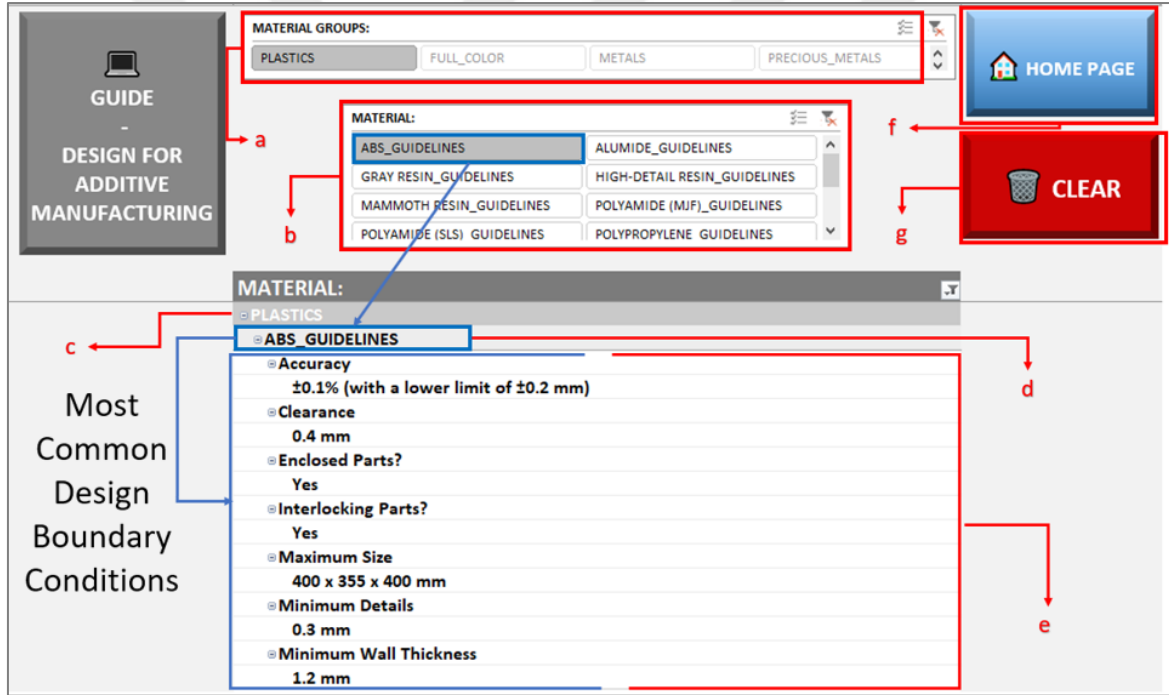
#	MALZEME GRUPLARI (MATERIALGROUPS):	MATERIAL-DESIGN GUIDELINE:	MALZEME-TASARIM REHBERİ:
1	Plastikler (PLASTICS)	ABS DESIGN GUIDELINES	ABS Tasarım Rehberi
2	Plastikler (PLASTICS)	ALUMIDE DESIGN GUIDELINES	Alümid Tasarım Rehberi
3	Plastikler (PLASTICS)	GRAY RESIN DESIGN GUIDELINES	Gri Reçine Tasarım Rehberi
4	Plastikler (PLASTICS)	HIGH-DETAIL RESIN DESIGN GUIDELINES	Yüksek Detay Reçine Tasarım Rehberi
5	Plastikler (PLASTICS)	MAMMOTH RESIN DESIGN GUIDELINES	Mammoth Reçine Tasarım Rehberi
6	Plastikler (PLASTICS)	POLYAMIDE (SLS) DESIGN GUIDELINES	Polyamid (SLS) Tasarım Rehberi
7	Plastikler (PLASTICS)	POLYAMIDE (MJF) DESIGN GUIDELINES	Polyamid (MJF) Tasarım Rehberi
8	Plastikler (PLASTICS)	POLYPROPYLENE DESIGN GUIDELINES	Polipropilen Tasarım Rehberi
9	Plastikler (PLASTICS)	RUBBER-LIKE (MJF) DESIGN GUIDELINES	Kauçuk Yapılar (MJF) Tasarım Rehberi
10	Plastikler (PLASTICS)	STANDART RESIN DESIGN GUIDELINES	Standart Reçine Tasarım Rehberi
11	Plastikler (PLASTICS)	TRANSPARENT RESIN DESIGN GUIDELINES	Şeffaf Reçine Tasarım Rehberi
12	Metaller (METALS)	ALUMINIUM DESIGN GUIDELINES	Alüminyum Tasarım Rehberi
13	Metaller (METALS)	HIGH-DETAIL STAINLESS STEEL DESIGN GUIDELINES	Yüksek Detay Paslanmaz Çelik Tasarım Rehberi
14	Metaller (METALS)	STEEL DESIGN GUIDELINES	Çelik Tasarım Rehberi
15	Metaller (METALS)	TITANIUM DESIGN GUIDELINES	Titanyum Tasarım Rehberi
16	Kıymetli Metaller (PRECIOUS_METALS)	BRASS DESIGN GUIDELINES	Pirinç Tasarım Rehberi
17	Kıymetli Metaller (PRECIOUS_METALS)	BRONZE DESIGN GUIDELINES	Bronz Tasarım Rehberi
18	Kıymetli Metaller (PRECIOUS_METALS)	COPPER DESIGN GUIDELINES	Bakır Tasarım Rehberi
19	Kıymetli Metaller (PRECIOUS_METALS)	GOLD DESIGN GUIDELINES	Altın Tasarım Rehberi
20	Kıymetli Metaller (PRECIOUS_METALS)	SILVER DESIGN GUIDELINES	Gümüş Tasarım Rehberi
21	Multi Renk (FULL_COLOR)	MULTICOLOR+ DESIGN GUIDELINES	Multicolor+ Tasarım Rehberi

Bu ekranda kullanıcıya 7 farklı tasarım değişkeni ve yaklaşımında öneri sunulmaktadır (Çizelge 3.17):

Çizelge 3.17. Öneri sunulan tasarım değişkeni ve yaklaşımları

#	DESIGN SEPECIFICATIONS:	TASARIM ÖZELLİKLERİ:
1	Minimum Wall Thickness	Minimum Duvar Kalınlığı
2	Minimum Details	Minimum Detay Boyutu
3	Accuracy	Doğruluk
4	Maximum Size	Maksimum Boyut
5	Clearance	Boşluk
6	Enclosed Parts?	Kapalı Parçalar, Birbiri İçine Gömülü Parçalar
7	Interlocking Parts?	İç Kilitli Parçalar, İç İç Parçalar

Eklemeli imalat tasarım rehberi ekranı aşağıdaki gibidir:



Resim 3.35. Guide-design for additive manufacturing ekranı

Ekran görselindeki kısımlar:

- a: Seçim Paneli-Malzeme Grupları
- b: Seçim Paneli- Temel Malzemeler
- c: Seçili Malzeme Grubu
- d: Seçili Malzeme
- e: Tasarım Değişkeni/Yaklaşımı Önerisi Alanı

f: HOME PAGE: AM GUIDE başlangıç ekranına gider.

g: Kullanıcının seçim panellerinde gerçekleştirdiği seçimleri temizler.

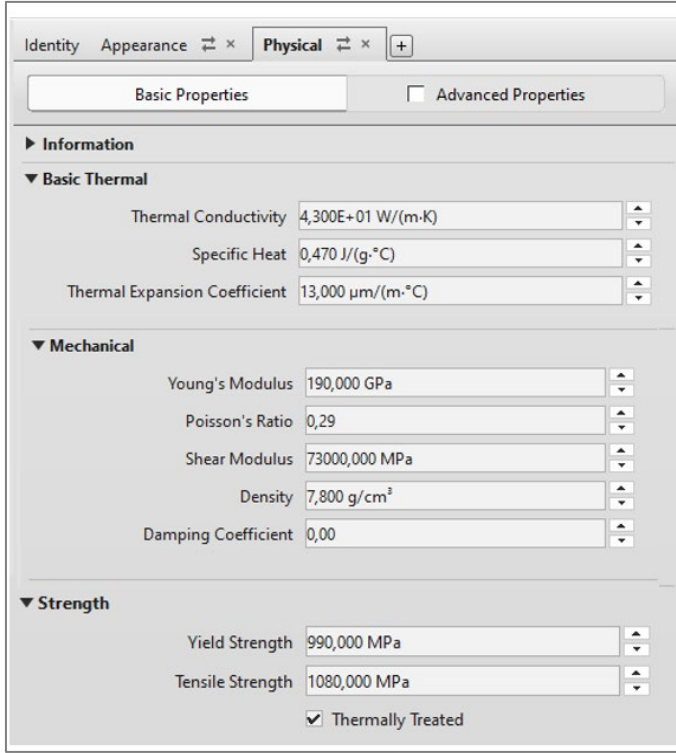
Örnek bir uygulama olarak Resim 3.35’ te kullanıcı “Malzeme Grubu” seçim panelinden “PLASTICS” seçimini gerçekleştirmiş, devamında açılan “Temel Malzemeler” seçim panelinde sunulan yönergelerden “ABS_GUIDELINES” seçimini yapmıştır. Bu kapsamda AM GUIDE 7 farklı tasarım değişkeni/yaklaşımı için öneriler sunmuştur (Çizelge 3.18):

Çizelge 3.18. ABS_guidelines için sonuçlar

Accuracy	Maximum Size
±0.1% (with a lower limit of ±0.2 mm)	400 x 355 x 400 mm
Clearance	Minimum Details
0.4 mm	0.3 mm
Enclosed Parts?	Minimum Wall Thickness
Yes	1.2 mm
Interlocking Parts?	
Yes	

3.1.3. Eklemeli imalata yönelik tasarım iterasyonu için malzeme seçimi ve tasarım değişkenlerinin tespiti

Çan krank (bellcrank) parçasının eklemeli imalata yönelik tasarım çalışması için gerçekleştirilecek eklemeli imalat iterasyonlarında kullanılacak malzemelerin AM Guide üzerinden malzeme opsiyonları belirlenmiştir. Bu kapsamda ilk olarak geleneksel metotlar ile imal edilen modelin genel malzeme özellikleri incelenmiştir. Geleneksel imalatta kullanılan malzeme Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel malzemesidir. Malzeme seçiminde AM Guide kriter ekranları ve kriterlere ait gereksinimlerin tespitinde referans olacak malzemenin ön plana çıkan mekanik, termal ve dayanım özellikleri Resim 3.36’ da paylaşılmıştır:



Resim 3.36. Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel malzeme karakteristikleri

Malzemenin öne çıkan özellikleri değerlendirilmiş, “Criteria” ekranında aşağıdaki kriter ve kriter gereksinimleri tespit edilmiştir. Bu kapsamda “Criteria” ekranında:

General features (genel özellikler):

Çan krank (bellcrank) parçasının maruz kalacağı yükler ve dahil olacağı montaj kompleksindeki çalışma esnasında yük aktarım durumu değerlendirildiğinde malzemedeki beklenen iki öncül kriter aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

- > High hardness (yüksek sertlik)
- > High strength (yüksek dayanım)

Uses (kullanım alanları)

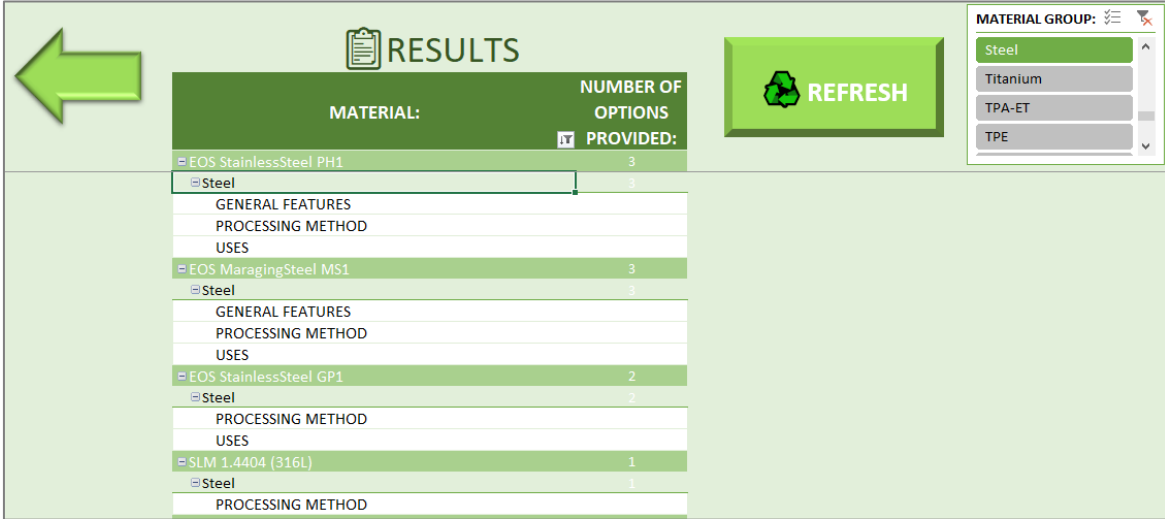
Kullanım alanı seçenekleri olarak iki kullanım alanı seçilmiştir.

- >Engineering Parts (Genel Mühendislik Parçaları)
- > Machine/ Mechanical Parts (Makine/ Mekanik Parçalar)

Processing method (imalat metodu)

> Laser Sintering/Melting (Lazer Sinterleme Ergitme)

AM Guide kriter ekranlarında yukarıda belirtilen kriter seçeneklerinin işaretlenmesi sonrasında çelik malzeme grubu için NOTEPAD sonuç çizelgesinde listelenen malzemeler incelenmiştir (Resim 3.37). Bu kapsamda belirlenen üç malzeme kriterinde gereksinimlerini de karşılayan malzemelerden “EOS Stainless Steel PH1” ve “EOS Maraging Steel MS1” tasarım iterasyonlarında kullanılmak üzere seçilmiştir.



MATERIAL:	NUMBER OF OPTIONS PROVIDED:
EOS StainlessSteel PH1	3
Steel	3
GENERAL FEATURES	
PROCESSING METHOD	
USES	
EOS MaragingSteel MS1	3
Steel	3
GENERAL FEATURES	
PROCESSING METHOD	
USES	
EOS StainlessSteel GP1	2
Steel	2
PROCESSING METHOD	
USES	
SLM 1.4404 (316L)	1
Steel	1
PROCESSING METHOD	

Resim 3.37. NOTEPAD “Result” ekranı

Seçili malzemelerin “Material Data Sheets” ekranından çekilen malzeme veri sayfaları Resim 3.38 ve Resim3.39’ daki gibidir:

EOS StainlessSteel PH1	
EOS GmbH - Powder Stainless Steel	
Sunday, February 14, 2021	
General Information	
Product Description	
EOS StainlessSteel PH1 is a pre-alloyed stainless steel in fine powder form. The chemistry of EOS StainlessSteel PH1 conforms to the compositions of DIN 1.4540 and UNS S15500.	
This kind of steel is characterized by having good corrosion resistance and excellent mechanical properties, especially in the precipitation hardened state. This type of steel is widely used in variety of medical, aerospace and other engineering applications requiring high hardness, strength and corrosion resistance.	
This material is ideal for many part-building applications (DirectPart) such as functional metal prototypes, small series products, individualised products or spare parts. Standard processing parameters use full melting of the entire geometry with 20 µm layer thickness, but it is also possible to use 40µm layer thickness to increase the build speed. Using standard parameters the mechanical properties are fairly uniform in all directions. Parts made from EOS StainlessSteel PH1 can be machined, spark-eroded, welded, micro shot-peened, polished and coated if required. Unexposed powder can be reused.	
Typical Applications:	
<ul style="list-style-type: none"> • engineering applications including functional prototypes, small series products, individualised products or spare parts. • parts requiring high corrosion resistance, sterilisability, etc. • parts requiring particularly high hardness and strength. 	
Minimum recommended layer thickness: 20 µm	
Typical achievable part accuracy:	
small parts ± 20-50 µm	
large parts ± 0.2%	
General	
Material Status	• Commercial: Active
Availability	<ul style="list-style-type: none"> • Africa & Middle East • Asia Pacific • Europe • Latin America • North America
Features	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosion Resistant • High Hardness • High Strength
Uses	<ul style="list-style-type: none"> • Additive Manufacturing (3D Printing) • Engineering Parts • Machine/Mechanical Parts • Prototyping
Forms	• Powder
Processing Method	• 3D Printing, Laser Sintering/Melting

Resim 3.38. Malzeme veri sayfası (EOS Stainless Steel PH1) [19]

EOS MaragingSteel MS1	
EOS GmbH - Powder Steel	
Sunday, February 14, 2021	
General Information	
Product Description	
EOS MaragingSteel MS1 is a steel powder which has been optimized especially for processing on EOSINT M systems.	
Parts built in EOS MaragingSteel MS1 have a chemical composition corresponding to US classification 18% Ni Maraging 300, European 1.2709 and German X3NiCoMoTi 18-9-5. This kind of steel is characterized by having very good mechanical properties, and being easily heat- treatable using a simple thermal age-hardening process to obtain excellent hardness and strength.	
Parts built from EOS MaragingSteel MS1 are easily machinable after the building process and can be easily post-hardened to more than 50 HRC by age-hardening at 490 °C (914 °F) for 6 hours. In both as-built and age-hardened states the parts can be machined, spark-eroded, welded, micro shot-peened, polished and coated if required. Due to the layerwise building method, the parts have a certain anisotropy, which can be reduced or removed by appropriate heat treatment - see Technical Data for examples.	
This document provides information and data for parts built using EOS MaragingSteel MS1 powder (EOS art.-no. 9011-0016) on the following system specifications:	
<ul style="list-style-type: none"> • EOSINT M 270 Installation Mode Standard with PSW 3.3 or 3.4 and default job MS1_020_default.job or MS1_040_default.job • EOSINT M 270 Dual Mode with PSW 3.5 and EOS Original Parameter Set MS1_Surface 1.0 or MS1_Performance 2.0 • EOSINT M 280 with PSW 3.5 and EOS Original Parameter Set MS1_Performance 1.0 or MS1_Speed 1.0 	
Typical achievable part accuracy:	
small parts ± 20 µm	
large parts ± 50 µm	
General	
Material Status	• Commercial: Active
Availability	<ul style="list-style-type: none"> • Africa & Middle East • Asia Pacific • Europe • Latin America • North America
Features	<ul style="list-style-type: none"> • High Hardness • High Strength
Uses	<ul style="list-style-type: none"> • Additive Manufacturing (3D Printing) • Machine/Mechanical Parts • Molds/Dies/Tools
Forms	• Powder
Processing Method	• 3D Printing, Laser Sintering/Melting

Resim 3.39. Malzeme veri sayfası (EOS Maraging Steel MS1) [20]

Malzeme opsiyonlarının belirlenmesi sonrasında AM Guide yazılımının çelik malzeme grubu için önerilen tasarım sınır koşulları Resim 3.41' deki gibidir:

The screenshot displays the AM Guide software interface. On the left, a sidebar contains a laptop icon and the text "GUIDE - DESIGN FOR ADDITIVE MANUFACTURING". Below this, the text "Most Common Design Boundary Conditions" is visible. The main area is divided into two sections. The top section, titled "MATERIAL GROUPS:", shows a list of material groups: METALS (selected), FULL_COLOR, PLASTICS, and PRECIOUS_METALS. Below this, the "MATERIAL:" section shows a list of material guidelines: ALUMINIUM_GUIDELINES, HIGH-DETAIL STAINLESS STEEL_GUID... (selected), STEEL_GUIDELINES, and TITANIUM_GUIDELINES. A red "CLEAR" button is located to the right of the material selection area. The bottom section, titled "MATERIAL:", shows a list of design boundary conditions for steel materials:

- Accuracy**: ± 1% (after 2-3% shrinkage compensation)
- Clearance**: 0.8 mm
- Enclosed Parts?**: No
- Interlocking Parts?**: No
- Maximum Size**:
 - 152 x 152 x 152 mm (polished, polished gold-plated, polished black, polished brown)
 - 177 x 177 x 177 mm (unpolished gold-plated)
 - 762 x 393 x 393 mm (unpolished, unpolished black)
- Minimum Details**: 0.8 to 1 mm
- Minimum Wall Thickness**: 1 to 3 mm (depending on dimensions)

Resim 3.40. Çelik malzemeli modeller için yaygın olarak kullanılan tasarım sınır şartları

Bir sonraki bölümde Resim 3.38 ve Resim 3.39' da gösterilen malzemeler kullanılarak çan krank (bellcrank) parçası için Fusion 360 programından yararlanılarak bir uygulama çalışmasına yer verilmiştir.

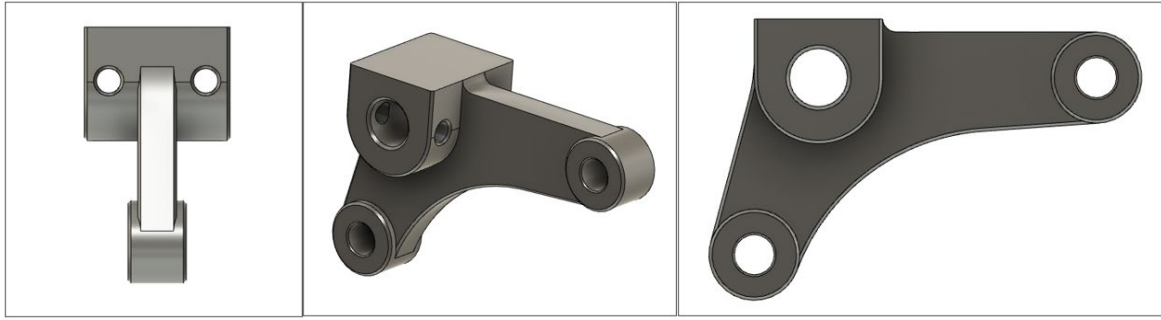


4. ÇAN KRANK PARÇASININ ÜRETKEN TASARIM METODU İLE EKLEMELİ İMALATA YÖNELİK TASARIM MODERNİZASYONU

Çan krank (bellcrank) parçaları, buldukları sistemlerde uygulanan kuvvetin açısını; dolayısıyla da yönünü değiştirmeye yarayan montaj komponentleridir. Bu başlık altında bir silah kompleksinin ateşleme mekanizması alt montajında bulunan dört kol mekanizmasındaki çan krank (bellcrank) parçasının, “kütle minimizasyonu” temel hedefi ile eklemeli imalata yönelik tasarım modernizasyonu çalışması aktarılacaktır.

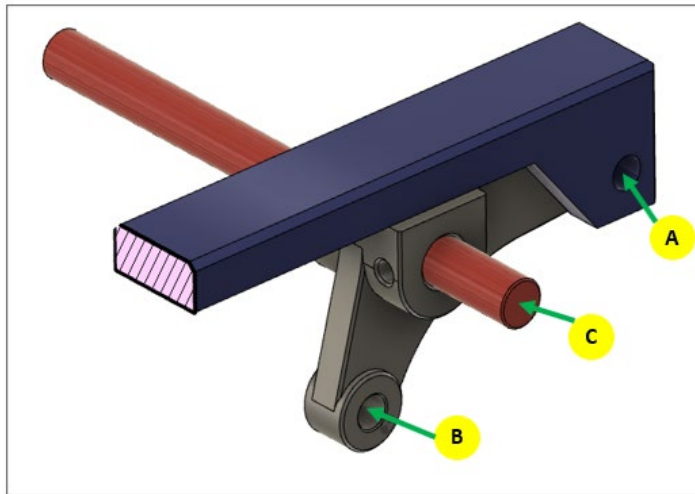
4.1. Parçanın Mekanik Özellikleri Çalışma Koşulları ve İmalat Metodu

Çan krank (bellcrank) parçasının model geometrisi Şekil 4.1’ deki gibidir:



Şekil 4.1. Çan krank parçası

Parçanın montaj kompleksindeki yeri Şekil 4.2’ deki gibidir:



Şekil 4.2. Çan krank parçasının montaj içerisindeki yeri ve çalışma şekli

Çan krank (bellcrank) parçası “A” ve “B” bölgelerinden kuvvete maruz kalmaktadır. Kuvvetler dört kol mekanizmasını hareket ettirirken aynı zamanda parçaya sabitlenmiş “C” milini hareket ettirerek mile bağlı diğer parçalara da hareket kazandırmaktadır. Şekil 4.3’ te parçanın yüklenme durumu aktarılmıştır. Parça iki farklı yüklenme durumunda kuvvete maruz kalmaktadır.

Yüklenme durumu-I için:

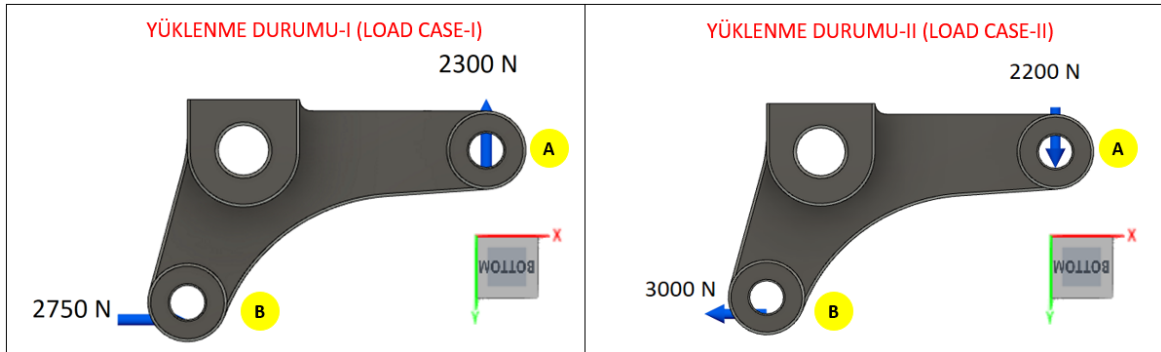
Delik A: -y yönünde: 2300 N

Delik B: +x yönünde: 2750 N

Yüklenme durumu-II için:

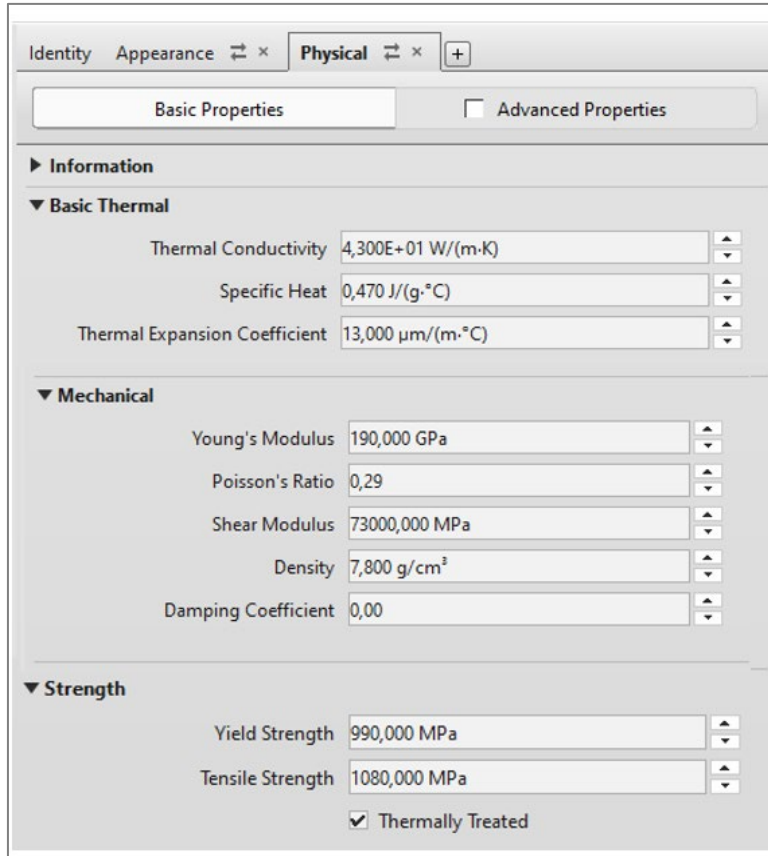
Delik A: +y yönünde 2200 N

Delik B: -x yönünde 3000 N



Şekil 4.3. Parçanın maruz kaldığı yükler

Parça geleneksel imalat yöntemlerinden olan olan frezeleme metoduyla “Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel” malzemesinden imal edilmektedir. Parça malzemesi Fusion 360 malzeme kütüphanesinde mevcut olmadığından çalışma esnasında eklenmiştir. İş parçasının malzeme özellikleri Şekil 4.4’ te verilmiştir.



Şekil 4.4. “Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel” malzeme özellikleri

Mevcut tasarımın fiziksel özellikleri Şekil 4.5’ teki gibidir:

Area	13591.11 mm ²
Density	0.008 g / mm ³
Mass	331.799 g
Volume	42538.39 mm ³
Physical Material	Quenched and Tempered 414l...

Şekil 4.5. Mevcut tasarımın fiziksel özellikleri

4.2. Mevcut Tasarımın Statik Analizi

Parça, çalışma şartlarındaki davranışının ve tepkilerinin tespiti için statik analize tabi tutulmuştur. İki farklı yüklenme durumu için analiz çalışması sonuçları Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’ de aktarılmıştır.

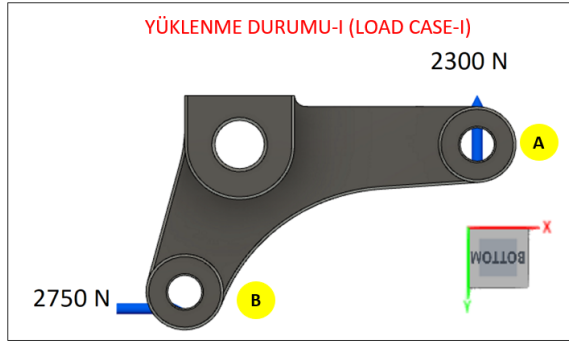
Malzeme özellikleri:

▣ **Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel**

Density	7.8E-06 kg / mm ³
Young's Modulus	190000 MPa
Poisson's Ratio	0.29
Yield Strength	990 MPa
Ultimate Tensile Strength	1080 MPa
Thermal Conductivity	0.043 W / (mm C)
Thermal Expansion Coefficient	1.3E-05 / C
Specific Heat	470 J / (kg C)

Şekil 4.6. “Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel” malzeme özellikleri

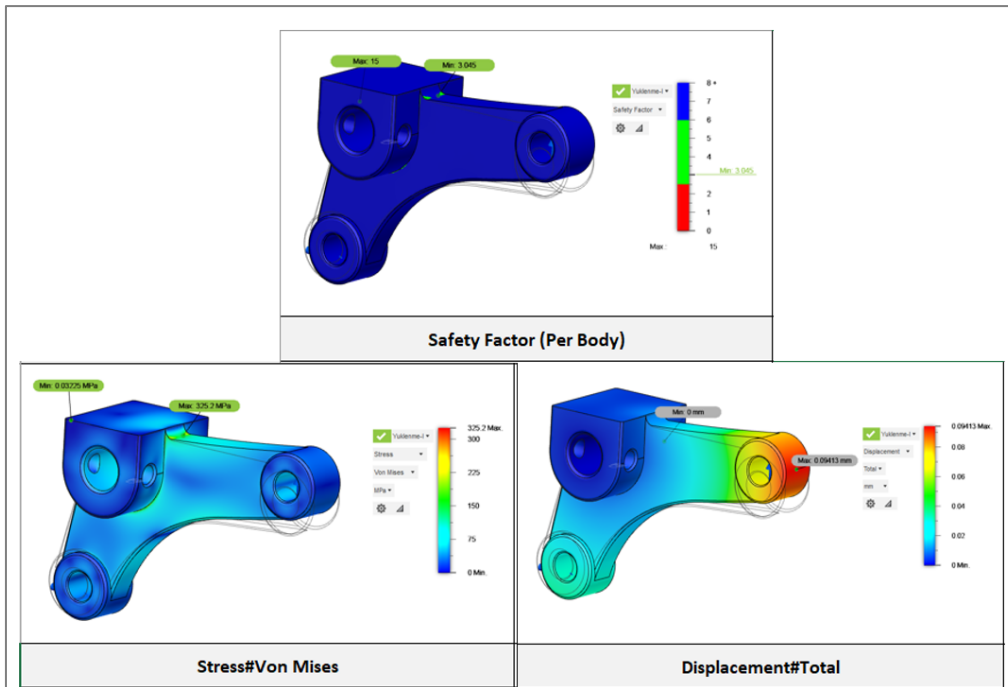
Yüklenme durumu-I:



Şekil 4.7. “Yüklenme Durumu-I” maruz kalınan kuvvetler

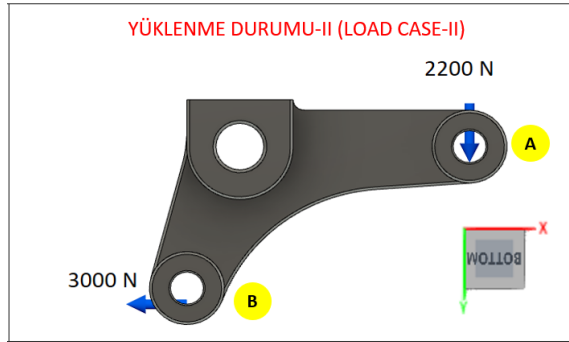
Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	3.045	15
Stress		
Von Mises	0.03225 MPa	325.2 MPa
1st Principal	-95.19 MPa	179.1 MPa
3rd Principal	-389.8 MPa	30.51 MPa
Normal XX	-343.2 MPa	156 MPa
Normal YY	-113.3 MPa	79.99 MPa
Normal ZZ	-190.7 MPa	45.93 MPa
Shear XY	-89.03 MPa	70.6 MPa
Shear YZ	-58.4 MPa	57.64 MPa
Shear ZX	-98.58 MPa	113.1 MPa
Displacement		
Total	0 mm	0.09413 mm
X	-0.02092 mm	0.03614 mm
Y	-0.09411 mm	0.01805 mm
Z	-8.652E-04 mm	8.662E-04 mm
Reaction Force		
Total	0 N	7.005 N
X	-6.565 N	3.513 N
Y	-3.83 N	4.757 N
Z	-1.365 N	1.258 N
Strain		
Equivalent	1.566E-07	0.002389
1st Principal	9.008E-08	0.001543
3rd Principal	-0.002675	6.882E-07
Normal XX	-0.001565	8.941E-04
Normal YY	-6.392E-04	4.176E-04
Normal ZZ	-4.186E-04	5.029E-04
Shear XY	-0.001209	9.587E-04
Shear YZ	-7.93E-04	7.827E-04
Shear ZX	-0.001339	0.001536

Şekil 4.8. “Yüklenme Durumu-I” statik analiz sonuçları



Şekil 4.9. Analiz değerleri sırasıyla: emniyet katsayısı, von Mises gerilmesi, toplam yer değiştirme

Yüklenme durumu-II:

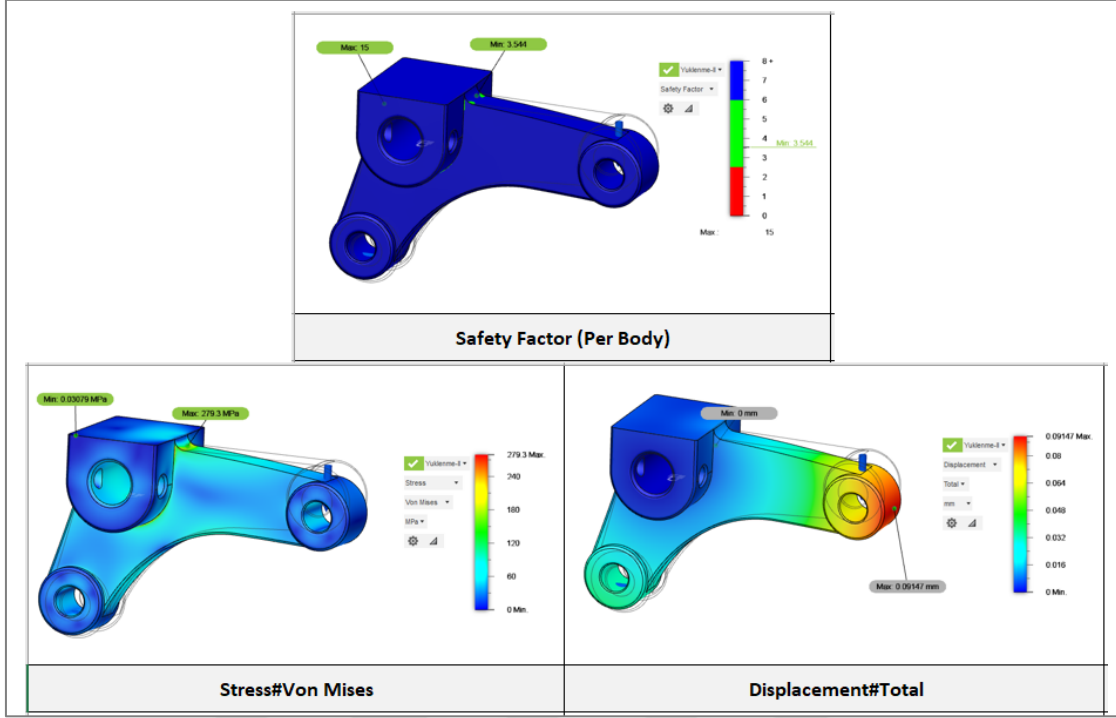


Şekil 4.10. “Yüklenme Durumu-II” maruz kalınan kuvvetler

Analiz sonuçları aşağıdaki gibidir:

Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	3.544	15
Stress		
Von Mises	0.03079 MPa	279.3 MPa
1st Principal	-36.71 MPa	340.2 MPa
3rd Principal	-159.8 MPa	63.19 MPa
Normal XX	-133.5 MPa	301.8 MPa
Normal YY	-91.22 MPa	93.93 MPa
Normal ZZ	-48.59 MPa	142.8 MPa
Shear XY	-74.14 MPa	84.92 MPa
Shear YZ	-54.08 MPa	57.61 MPa
Shear ZX	-84.49 MPa	88.02 MPa
Displacement		
Total	0 mm	0.09147 mm
X	-0.03814 mm	0.02015 mm
Y	-0.01914 mm	0.09145 mm
Z	-8.349E-04 mm	8.371E-04 mm
Reaction Force		
Total	0 N	7.098 N
X	-3.432 N	6.654 N
Y	-4.803 N	3.971 N
Z	-1.262 N	1.343 N
Strain		
Equivalent	1.707E-07	0.001912
1st Principal	1.774E-07	0.002176
3rd Principal	-0.001321	-1.105E-07
Normal XX	-7.553E-04	0.001341
Normal YY	-4.934E-04	5.881E-04
Normal ZZ	-4.571E-04	3.971E-04
Shear XY	-0.001007	0.001153
Shear YZ	-7.343E-04	7.823E-04
Shear ZX	-0.001147	0.001195

Şekil 4.11. “Yüklenme Durumu-II” statik analiz sonuçları



Şekil 4.12. Analiz değerleri sırasıyla: emniyet katsayısı, von Mises gerilmesi, toplam yer değiştirme

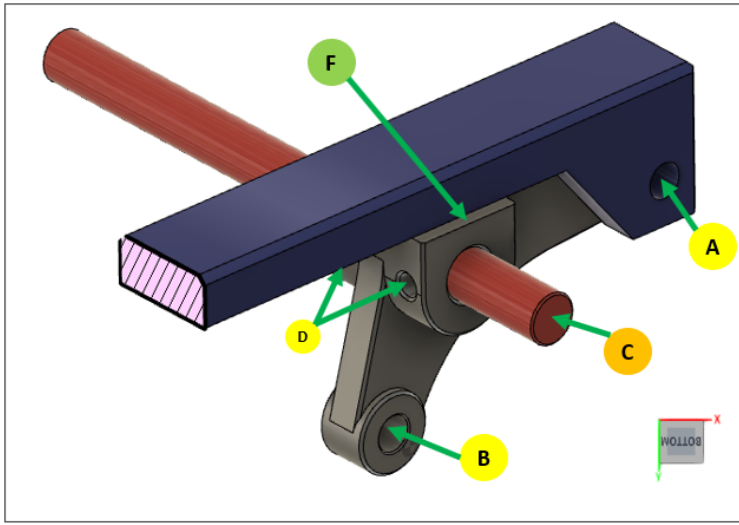
4.3. Eklemeli İmalat Prosesi İçin Üretken Tasarım Uygulaması

Parçanın eklemeli imalata yönelik tasarım modernizasyonu Fusion 360 ortamında üretken tasarım (generative design) uygulamasında gerçekleştirilmiştir. Üretken tasarım yaklaşımında tasarım süreci; tasarlanacak parçanın montajdaki rolü ve çalışma şartlarına göre parça geometrisinin sahip olması gereken mekanik ve fiziksel özelliklerin tespiti sonrası tasarım iterasyonuna başlanacak temel sınır geometrilerinin belirlenmesi ile başlar. Üretken tasarım çalışması, eklemeli imalata yönelik modernize edilecek parça modeli üzerinden ilgili başlangıç geometrilerinin tespiti ile başlayabileceği gibi, daha önce tasarlanmamış ve ilk defa üretken tasarım yaklaşımıyla tasarlanacak bir parça için dahil olacağı montaj kompleksi üzerinden tespit edilen yapısal ve geometrik sınır koşulları ile de başlatılabilir (Örneğin montaj deliği konumları, delik çapları, kontak yüzeyleri, parçanın sahip olabileceği maksimum boyutlar iterasyon girdisi olarak kullanılabilir.)

4.4. Mevcut Tasarımın Montaj İçindeki Çalışma Şartlarının Tespiti ve Sınır Geometrilerinin Belirlenmesi

Bu başlık altında, mevcut modelin üretken tasarım süreci için hazırlanması aşaması aktarılacaktır. Bu kapsamda üretken tasarım süreçleri için ilk adım olan ‐Korunmuş Geometriler (Preserve Geometry)‐, ‐Engel Geometriler (Obstacle Geometry)‐ ve ‐Başlangıç Şekli (Starting Shape)‐ geometrilerinin tespiti gerçekleştirilecektir.

Çan krank (bellcrank) parçasının montajdaki yeri Şekil 4.13’ teki gibidir:



Şekil 4.13. Parçanın alt montaj kompleksinde bulunduğu yer

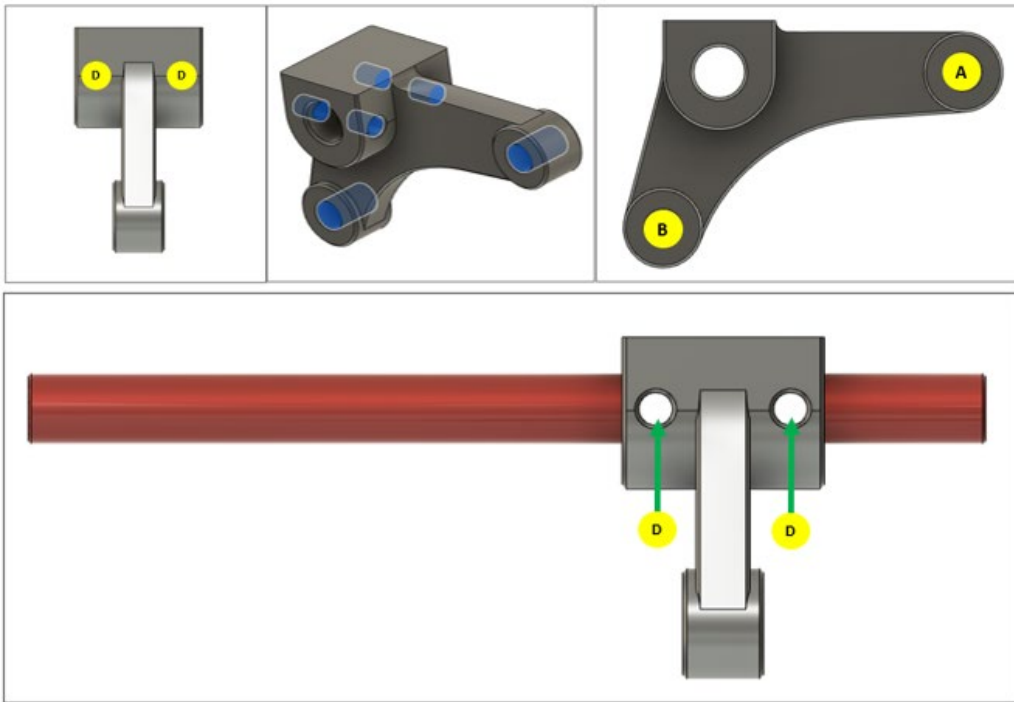
Resim üzerinde parçanın diğer montaj parçaları ile birleştirildiği ve temas kurduğu kısımlar harfler ile belirtilmiştir.

4.4.1. Korunmuş geometriler (preserve geometry)

Fusion 360 Generative Design (Üretken Tasarım) modülü ürün ağacında ‐Preserve Geometry‐ olarak ifade edilen korunmuş geometri bölgeleri; üretken tasarım çalışması sonrasında değişmeden kalması talep edilen, çoğunlukla montaj komplekslerinin birbirleriyle birleştiği delik bölgeleri, iç ve dış diş bölgeleri ve parça üzerinde bulunan diğer montaj parçaları ile konumlama ve/veya merkezleme ilişkisi içerisinde olan datum yüzey ve bölgelerini kapsar. Bu kapsamda preserve geometry olarak belirlenecek bölgeler aşağıdaki gibidir:

Pim delikleri

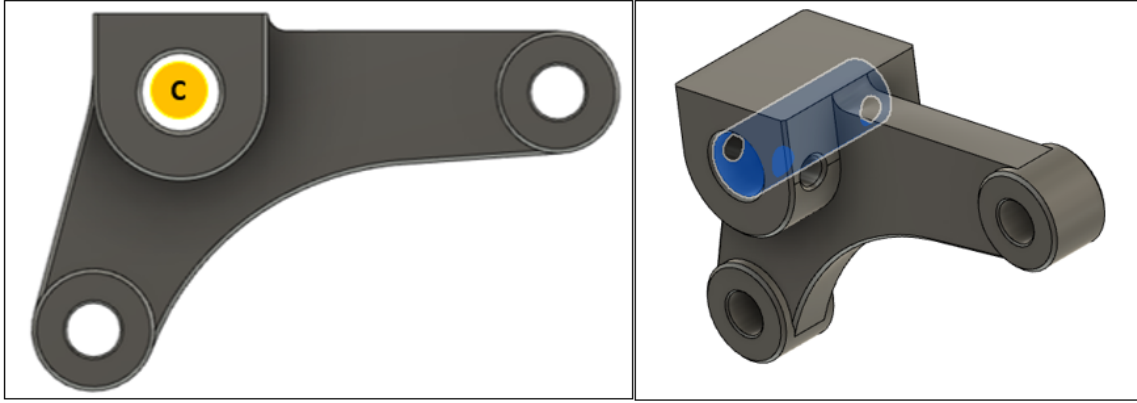
Resim 4.14'te sarı harfler (A, B ve D) ile ifade edilen delikler parçanın diğer montaj komponentlerine bağlanacağı pim delikleridir. A ve B delikleri çan krank (bellcrank) parçasının diğer parçalara bağlandığı deliklerdir, D delikleri ise mil parçasının çan krank (bellcrank) parçasına sabitlendiği kısımlardır. Parçada bulunan delik bölgelerinin -montaj ilişkisi açısından- ölçü ve toleranslarının, sistemin problemsiz şekilde çalışabilmesi için, üretken tasarım sonrasında da korunması gerekmektedir.



Şekil 4.14. Korunmuş geometrilere dahil edilecek pim delikleri

Mil-göbek temas yüzeyi

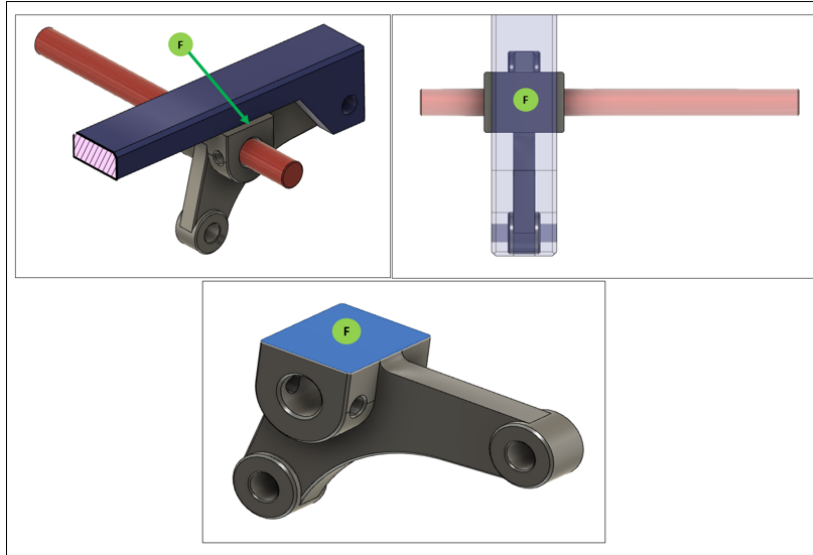
Şekil 4.15' te C ile gösterilen yüzey çan krank (bellcrank) parçası ile mil parçasının mil-göbek bağlantısının temas yüzeyidir. İlgili bölge de final tasarımda korunması gereken geometriler arasına eklenmiştir.



Şekil 4.15. Mil-göbek temas yüzeyi

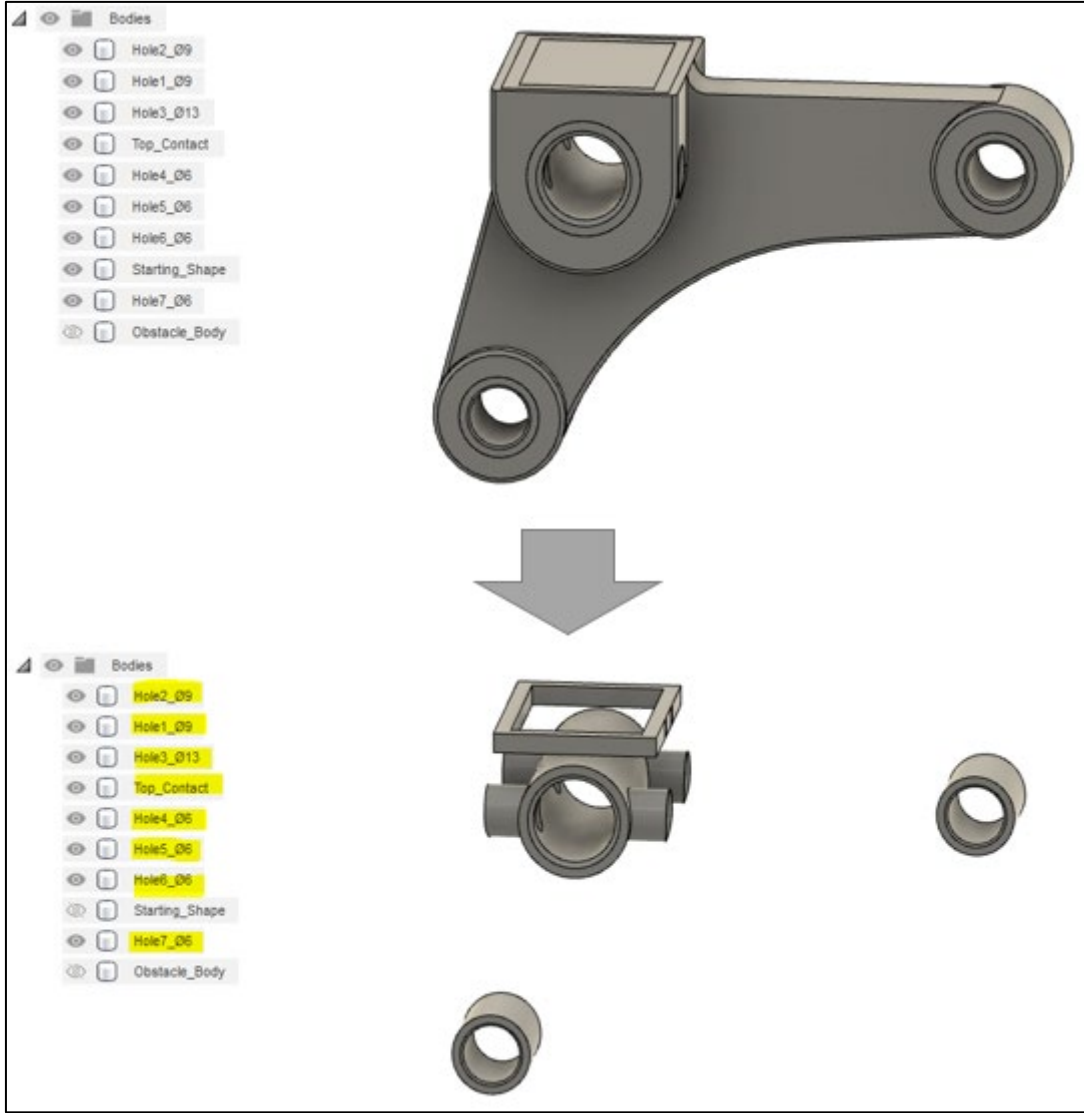
Üst kontak yüzeyi

Şekil 4.16’ da çan krank parçasının montajdaki mavi uzuvla temas ettiği yüzey “F” ile işaretlenmiş üst kontak yüzeyidir. “F” temas yüzeyi dört kol mekanizması mantığıyla çalışan montaj kompleksinin hareket sınırlarını belirlemesi açısından kritiktir. Bu sebeple final tasarımda ilgili yüzey ilişkisi korunmalıdır.



Şekil 4.16. Çan krank parçasının mavi uzuvla temas bölgesi

Korunmuş geometriler olarak belirlenen bölgelerin üretken tasarım uygulamasında preserve geometry olarak tanımlanabilmesi için ana model geometrisinde belirlenen offset mesafesine göre ayrı bir body olarak tanımlanması gerekmektedir. Bu bölgeler Şekil 4. 17’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. İlk parça modeli ve üretken tasarım sonrası final modelde korunacak bölgeler

Bu kapsamda korunması gereken bölgeler için offset miktarları aşağıdaki gibidir(Şekil 4.18):

Pim delikleri

A ve B için 1,25 mm

D delikleri için 0,28 mm

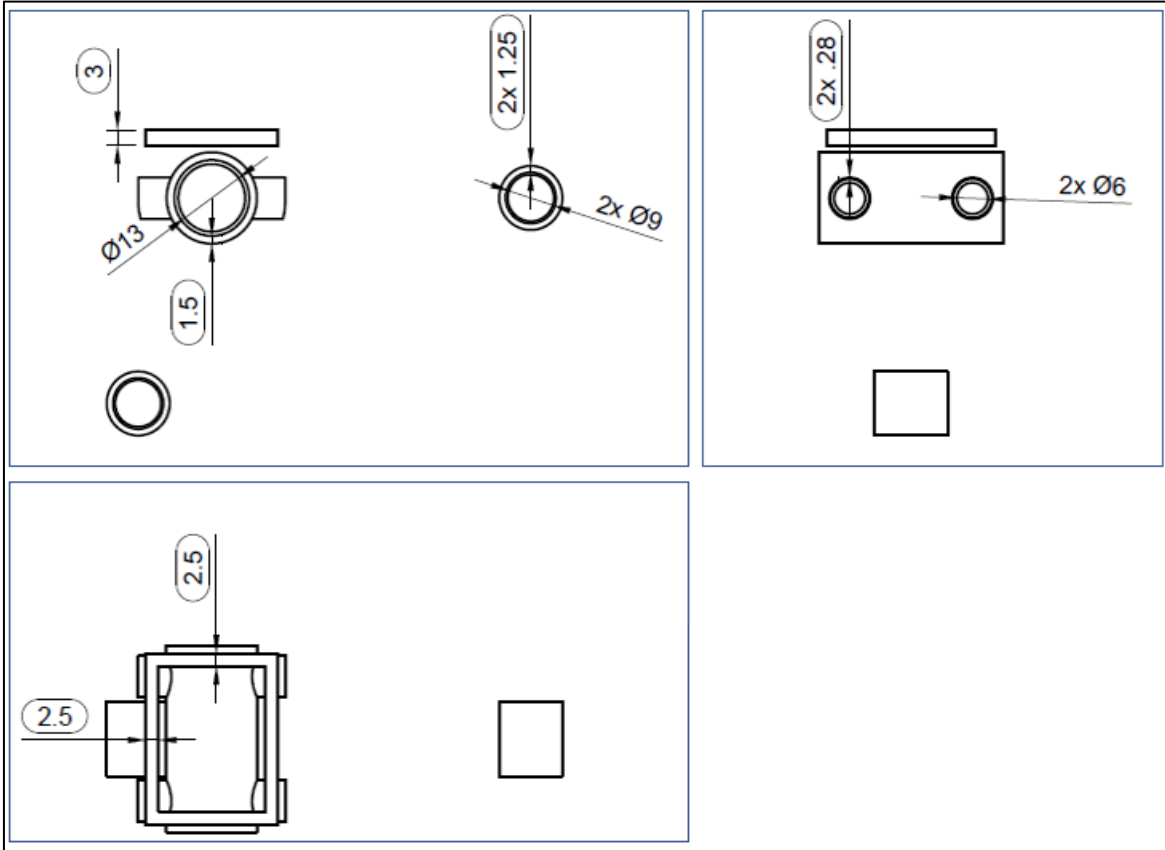
Mil-göbek temas yüzeyi

C için 1,5 mm

Üst kontak yüzeyi

Çerçeve kalınlığı → 2,5 mm

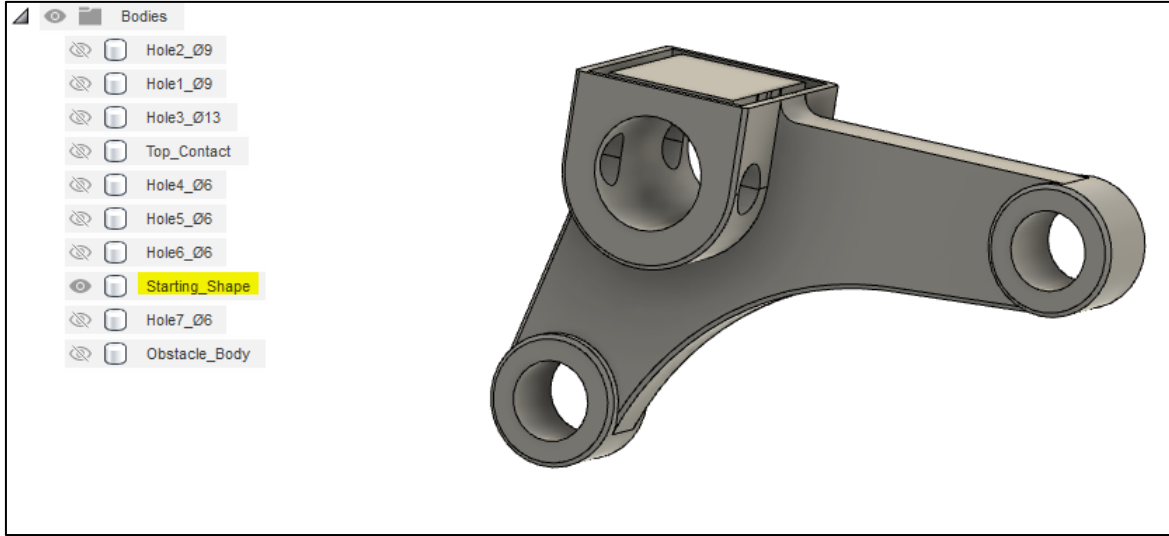
Yükseklik → 3 mm



Şekil 4.18. Korunmuş bölgeler ve ofset ölçüleri

Başlangıç şekli (Starting shape)

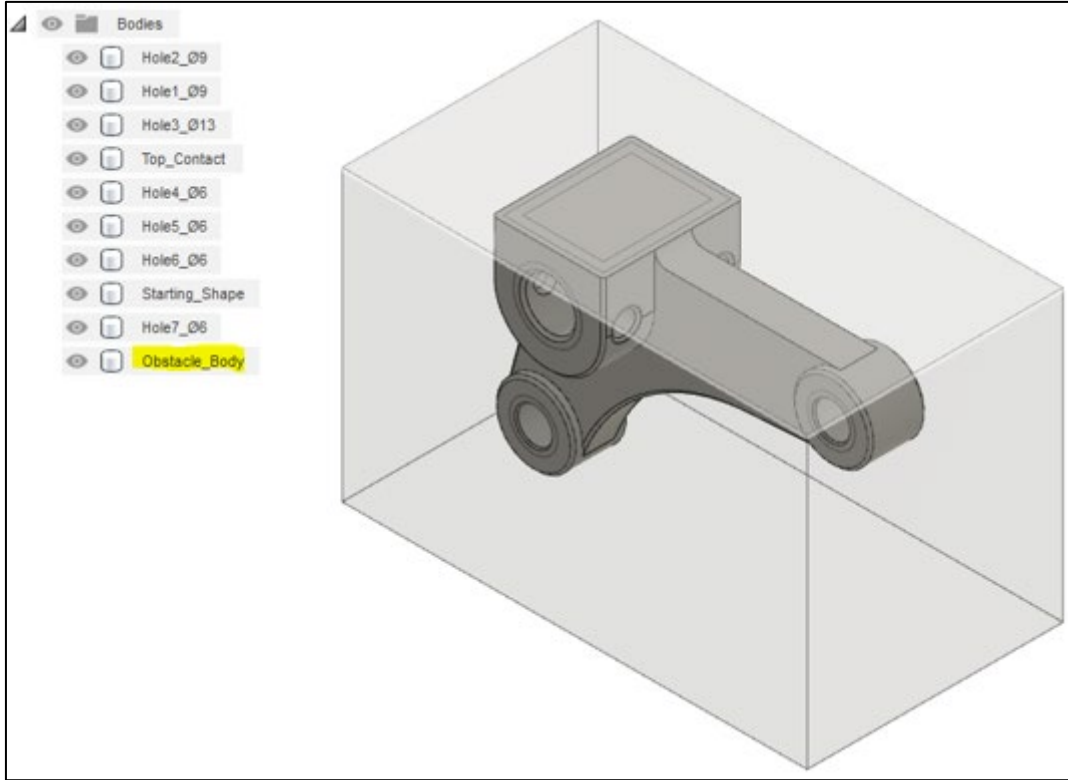
Üretken tasarımda başlangıç şekli (starting shape); korunmuş geometrileri (preserve geometry) belirlenmiş hedef parça için üretken tasarım iterasyonunda örnek bir başlangıç geometrisidir. Başlangıç şekli belirlemek, üretken tasarım uygulaması için arzu edilen tasarım iterasyonlarına daha hızlı yakınsanmasını sağlar. Üretken tasarım iterasyonları için başlangıç şekli (starting shape) olarak parça modelinde korunmuş geometriler (preserve geometry) dışında kalan kısmın seçilmesi oldukça verimli bir yaklaşımdır. Bu kapsamda belirlenen başlangıç şekli (starting shape) Şekil 4.19' daki gibidir.



Şekil 4.19. Starting shape (başlangıç şekli)

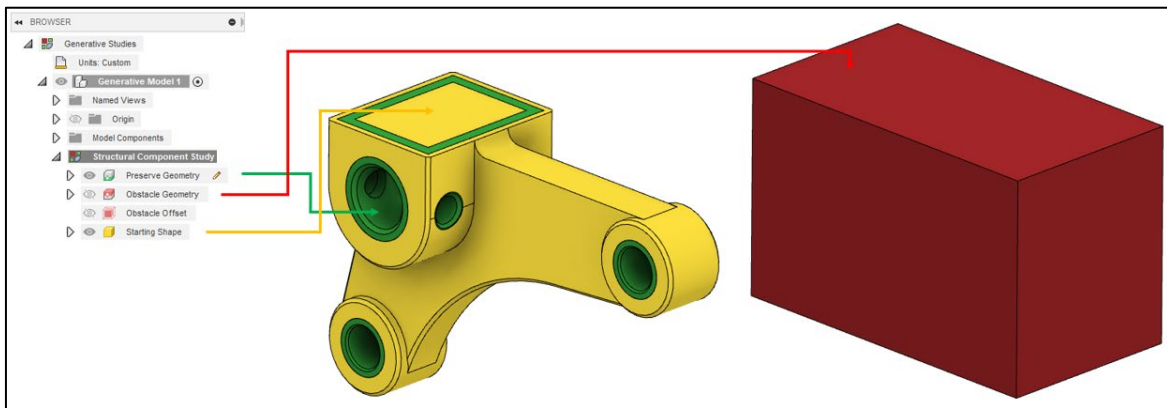
Engel geometriler (obstacle geometry)

Özellikle montaj parçalarının tasarımında önemli faktörlerden birisi de tasarımı yapılacak parçanın konumlanabileceği alandır. Tasarım alanı (design area); tasarımı yapılacak parçanın geometri sınırlarının dayanabileceği maksimum sınırlardır. Geleneksel tasarım yaklaşımlarında da önemli bir tasarım sınır koşulu olan tasarım alanı kavramı ile, Fusion 360 üretken tasarım modülünde engel geometri (obstacle geometry) olarak karşılaşılr. Bu uygulamada da Engel geometriler (obstacle geometry) olarak aynı yaklaşım kullanılmıştır. Engel geometrilerin (obstacle geometry) tanımlanması Şekil 4.20' deki gibi yapılmıştır.



Şekil 4.20. Engel geometriler (obstacle geometry)

Üretken tasarım (generative design) modülünde belirlenen korunmuş geometriler (preserve geometry), başlangıç şekli (starting shape) ve engel geometriler (obstacle geometry) Şekil 4.21' deki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 4.21. Korunmuş geometriler (preserve geometry), başlangıç şekli (starting shape) ve engel geometriler (obstacle geometry)

Üretken tasarım penceresinde model üzerinde, korunmuş geometriler (preserve geometry) yeşil ile başlangıç şekli (starting shape) sarı ile ve engel geometriler (obstacle geometry) kırmızı ile temsil edilmektedir.

İlgili geometrilerin üretken tasarım (generative design) ortamında tanımlamalarının yapılmasından sonra hedefler (objectives), limitler (limits-safety factor) ve modernize edilmiş tasarım için imalat metodu (manufacturing) seçimi gerçekleştirilir.

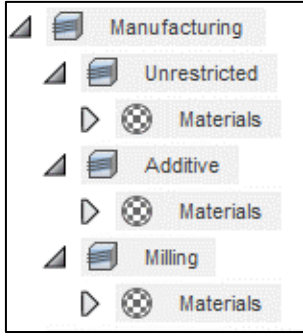
Tasarım iterasyonu hedefi kütle minimizasyonu (minimize mass) ve limitlerde hedef güvenlik katsayısı (target safety factor) 2,5 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Tasarım hedefleri ve limitleri

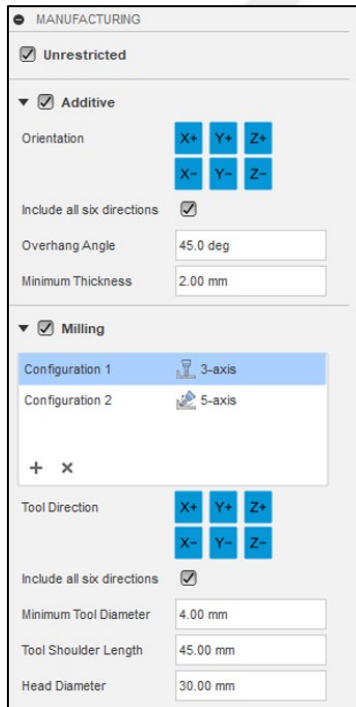
Hedefler ve limitlerin belirlenmesinden sonra üretken tasarım iterasyonu için diğer bir adım üretim yöntemlerinin seçilmesidir. Fusion 360 Generative Design uygulamasında tasarım iterasyonuna dahil edilebilen imalat metotları “Additive(Eklemeli İmalat)”, “Milling(Frezeleme)”; “2-axis Cutting (2 eksen kesim)”, “Die Casting (Döküm)” şeklindedir. Tasarım iterasyonu, seçilen imalat metodu/metotları ve seçilen imalat metotları için belirlenen sınır şartlarına göre (ör: eklemeli imalat için oryantasyon, minimum duvar kalınlığı gibi, frezeleme için tezgah sayısı 3 eksen/5 eksen, minimum takım çapı gibi) işlenebilirliğe en uygun opsiyonlar için yönlendirilir. Bu seçeneklere ek olarak bir diğer imalat metodu “Unrestricted (sınırlanmamış)” seçeneğidir. Bu opsiyonunda da imal edilebilir tasarım iterasyonlarına ulaşılmaktadır. Unrestricted (sınırlanmamış) seçiminde herhangi imalat metodu ve imalat metodu ile ilgili sınır şartı ataması yapılmadığından, tasarım iterasyonu, hedef ve limitlerine en çok yakınsayan tasarımı üretmeye odaklanacaktır. Elde edilen sonuçlar eklemeli imalat metotları ile üretilebilir parça geometrileri sunmaktadır.

Çalışmada imalat metodu opsiyonlarından “Unrestricted (sınırlanmamış)”, “Additive (Eklemeli İmalat)” ve “Milling (Frezeleme)” seçilmiştir. Çalışma, parçanın eklemeli imalat metotları ile imal edilmek üzere bir tasarım modernizasyonunu kapsasa da parçanın geleneksel imalat metotları ile üretilebilecek partileri için de değerlendirilebilecek - frezeleme ile imal edilebilecek tasarım opsiyonlarına yönelik- üretken tasarım sonuçlarının incelenmesi amacıyla “Milling(frezeleme)” metodu da seçilmiştir. Seçili imalat metotları ve imalat metotlarının sınır koşulları Şekil 4.23’ teki gibidir:



Şekil 4.23. İterasyona dahil edilen imalat metotları

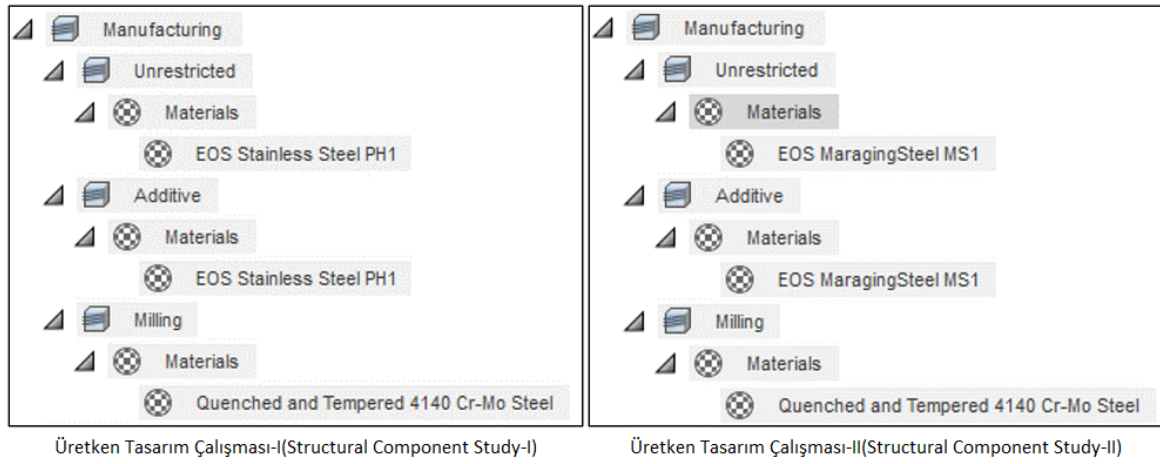
Üretim metotlarının değişkenleri ve sınır koşulları Şekil 4.24' teki gibi belirlenmiştir. Additive (eklemeli imalat) metodu için overhang angle 45° , minimum wall thickness 2.00 mm ve tüm oryantasyonlar (X+, Y+, Z+, X-, Y-, Z-) seçilmiştir. Frezeleme için 3 eksen ve 5 eksen frezeleme metodu iterasyona dahil edilmiş, kesim yönü olarak altı eksen yönünün tümü seçilmiştir. Minimum tool diameter 4,00 mm, tool shoulder length 45,00 mm ve head diameter 30,00 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 4.24. Seçilen imalat metotlarının sınır şartları

Üretim metotları ve metotların sınır şartları tespit edildikten sonra üretim yöntemleri için malzeme ataması gerçekleştirilir. Milling (Frezeleme) metodu için malzeme Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel olarak atanmıştır (Şekil 4.25). Additive (eklemeli imalat) ve

unrestricted (sınırlanmamış) metod için ise AM Guide üzerinden belirlenen EOS Stainless Steel PH1 ve EOS Maraging Steel MS1 (after age hardening) malzemeleri atanmıştır. Eklemeli imalat (additive) üretim metodu için iki aday malzeme olduğu için “Üretken Tasarım İterasyonu-I (Structural Component Study-I)” ve “Üretken Tasarım İterasyonu-II (Structural Component Study-II)” iki farklı üretken tasarım çalışma kurgusu oluşturulmuştur.



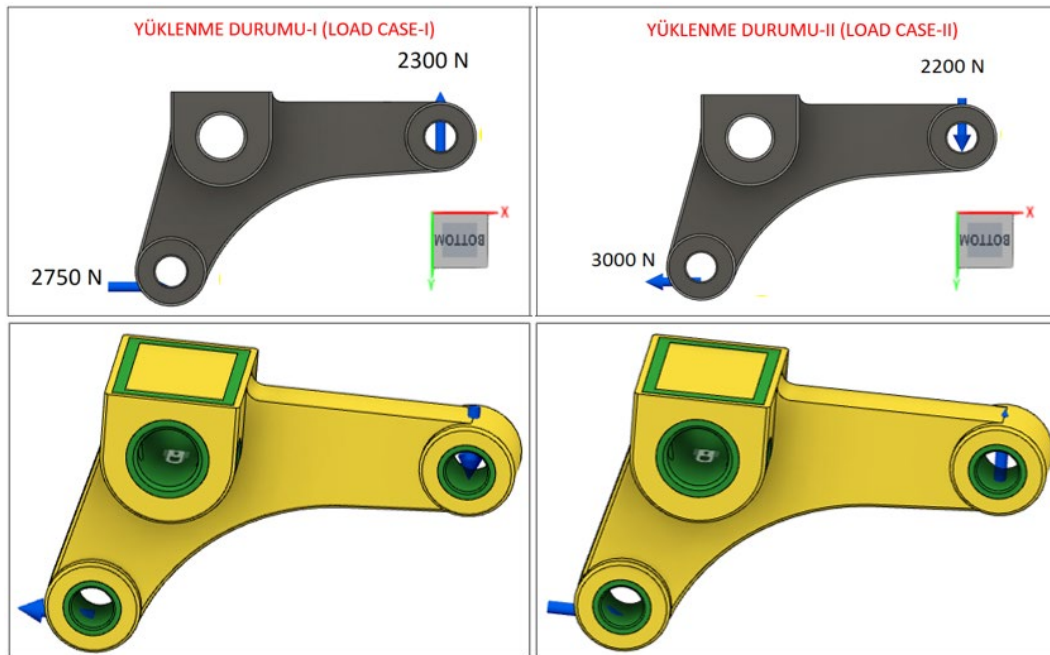
Şekil 4.25. İmalat metotları için gerçekleştirilen malzeme atamaları

EOS Stainless Steel PH1 ve EOS Maraging Steel MS1 (after age hardening) malzemeleri Fusion 360 malzeme kütüphanesinde olmadığı için manuel olarak tanımlanmıştır. Malzemelerin özellikleri Şekil 4.26’ daki gibidir:

Identity	Appearance	Physical	Advanced Properties
Basic Properties			
<input type="checkbox"/> Advanced Properties			
Information			
Name	EOS Stainless Steel PH1		
Description	EOS PH1 - Powder Steel		
Keywords	Steel		
Type	Metal		
Subclass			
Source	EOS		
Source URL			
Basic Thermal			
Thermal Conductivity	1,570E+01 W/(m·K)		
Specific Heat	0,470 J/(g·°C)		
Thermal Expansion Coefficient	13,000 µm/(m·°C)		
Mechanical			
Young's Modulus	180,000 GPa		
Poisson's Ratio	0,28		
Shear Modulus	70300,000 MPa		
Density	7,800 g/cm ³		
Damping Coefficient	0,00		
Strength			
Yield Strength	1300,000 MPa		
Tensile Strength	1450,000 MPa		
	<input checked="" type="checkbox"/> Thermally Treated		
EOS Stainless Steel PH1			
Information			
Name	EOS MaragingSteel MS1 (after age hardening)		
Description	EOS GmbH - Powder Steel		
Keywords	Steel		
Type	Metal		
Subclass			
Source	EOS		
Source URL			
Basic Thermal			
Thermal Conductivity	2,000E+01 W/(m·K)		
Specific Heat	0,450 J/(g·°C)		
Thermal Expansion Coefficient	13,000 µm/(m·°C)		
Mechanical			
Young's Modulus	180,000 GPa		
Poisson's Ratio	0,28		
Shear Modulus	70300,000 MPa		
Density	8,050 g/cm ³		
Damping Coefficient	0,00		
Strength			
Yield Strength	1900,000 MPa		
Tensile Strength	1950,000 MPa		
	<input checked="" type="checkbox"/> Thermally Treated		
EOS Maraging Steel MS1 (after age hardening)			

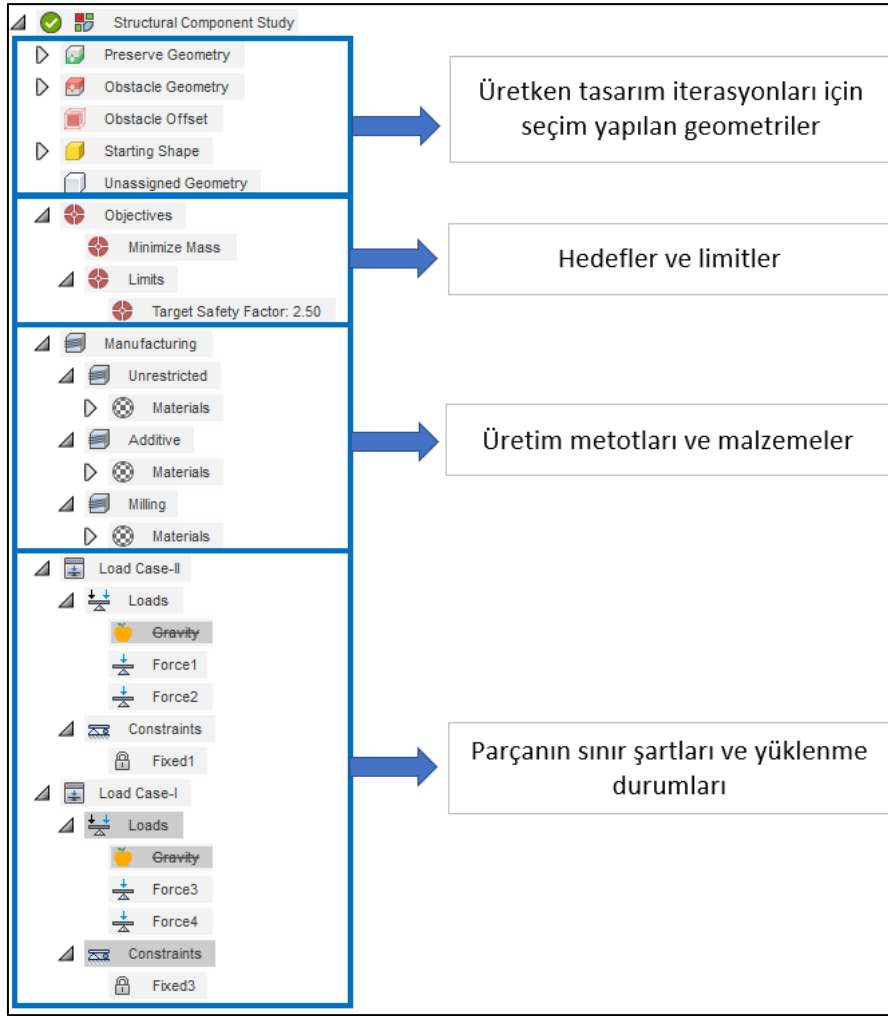
Şekil 4.26. Fusion 360 malzeme tanımlamaları (EOS Stainless Steel PH1 ve EOS Maraging Steel MS1 (after age hardening))

Üretim metotları tamamlandıktan sonra parçanın çalışma sınır şartları ve yüklenme durumları üretken tasarım çalışmasına eklenmiştir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Parçanın sınır şartları ve yüklenme durumları

Şekil 4. 28' de üretken tasarım çalışmasına ait ürün ağacı paylaşılmıştır:



Şekil 4.28. Üretken tasarım çalışması ürün ağacı

Üretken tasarım iterasyonu öncesi gerçekleştirilen çalışmalar sırasıyla:

- >Üretken tasarım iterasyonları için gerekli sınır geometrilerinin tanımlanması
- >Çalışma hedef ve limitlerinin tanımlanması
- >Üretim metotları ve seçili üretim metotlarının kullanılacağı malzemelerin tanımlanması
- >Parçanın sınır şartları ve yüklenme durumlarının tanımlanması.

Tüm adımlar tamamlandıktan sonra üretken tasarım iterasyonu başlatılır.

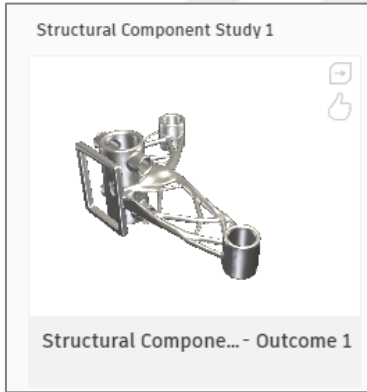
4.5. Üretken Tasarım Çıktılarının İncelenmesi ve Final Tasarımın Seçilmesi

Fusion 360 üretken tasarım iterasyonu sonuçları “Explore” ekranında incelenir. Explore ekranında iterasyon sonuçlarının görüntülenmesi 4 farklı formatta görüntülenebilir. Şekil 4.29. İterasyon sonuçlarının görüntülenmesi:



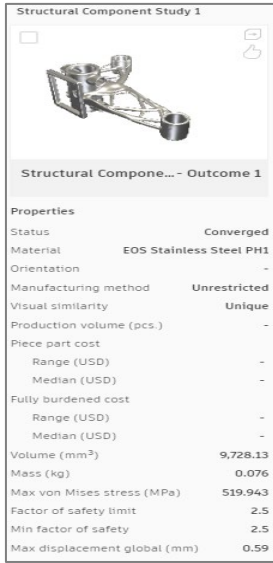
Şekil 4.29. İterasyon sonuçlarının görüntülenmesi

- a. Thumbnail View → Küçük Resim Görünümü: Tasarım çıktıları Explore ekranında küçük resimler halinde listelenir (Şekil 4.30). Final aday tasarıma kadar gerçekleştirilen iterasyon aşamaları küçük resim üzerinden gözlenebilir. Çıktı filtresi (outcome filters) seçimlerine göre sonuçlar filtrelenebilir.



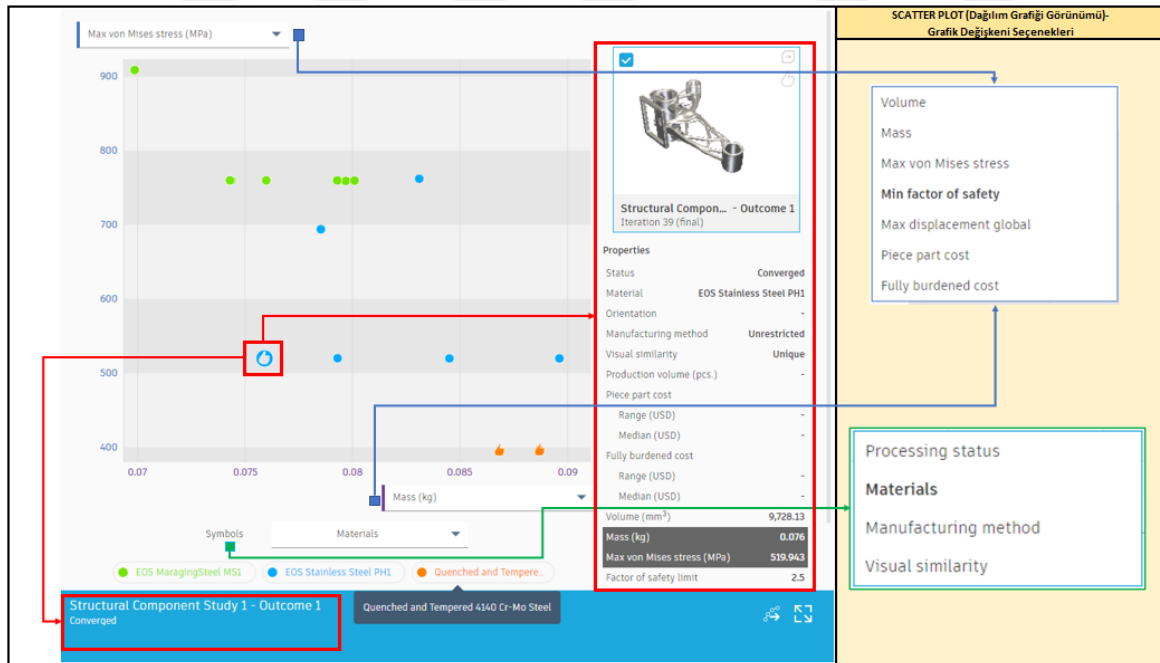
Şekil 4.30. Örnek thumbnail view

- b. Properties View → Özellik Dağılımlı Görünüm: Tasarım çıktılarının küçük resimleri ile üretken tasarım ürün ağacında belirlenen şartlar ve kısıtlar neticesindeki performansı listelenir (Şekil 4.31). Çıktı filtresi (outcome filters) seçimlerine göre sonuçlar filtrelenebilir.



Şekil 4.31. Örnek properties view

- c. Scatter Plot View → Dağılım Grafiği Görünümü: Tasarım çıktıları grafik üzerinde seçili parametrelere ve tercih edilen çıktı filtrelerine (outcome filters) göre konumlandırılır. Çıktı filtresi (outcome filters) seçimlerine göre sonuçlar filtrelenebilir.



Şekil 4.32. Scatter plot view ekranı

Şekil 4. 32 Scatter plot view ekranı'nda seçili symbols (sembol kriterleri) seçimi ve grafik eksenini tercihlerine göre filtreleme yapılabilir ve çizelge üzerinde tasarım iterasyon sonuçları konumlanır. Grafik üzerinde konumlanan sonuçlar incelenmek istendiğinde, çizelge

üzerinde konumlanan sonuca tıklanarak tasarımın sahip olduğu özellikler gözlenebilir. (Kırmızı oklar ve çerçeveler ile temsil edilmiştir).

Grafik üzerinde Seçim yapılabilecek sembol kriterleri (Symbols) aşağıdaki gibidir:

Processing status: Proses statüsü

Materials: Malzeme

Manufacturing method: İmalat metodu

Visual similarity: Görsel benzerlik

Seçim yapılabilecek grafik eksenleri tercihleri aşağıdaki gibidir:

Volume: Hacim

Mass: Kütle

Max von Mises stress: von Mises gerilimi

Max displacement global: Yer değiştirme

Piece part cost: Parça maliyeti

Fully burdened cost: Toplam maliyet

d. Table View → Tablo Görünümü: Tasarım çıktısı performans ve sonuçları tablo halinde listelenir. Çıktı filtresi (outcome filters) seçimlerine göre sonuçlar filtrelenebilir. Şekil 4.33. Table view ekranı'nda grafik başlıkları ve tasarım çıktılarının nasıl listelendiği aktarılmıştır.

Processing status	Material	Manufacturing method	Visual similarity	Piece cost range (USD)	Piece cost median (USD)	Full cost range (USD)
Full cost median (USD)	Volume (mm ³)	Mass (kg)	Max von Mises stress (MPa)	Factor of safety limit	Min factor of safety	Max displacement global (mm)
Name	Tech-Preview	Recommendation ↓				
Structural Compone... - Outcome 1		87.361 %				
Structural Compone... - Outcome 9		83.814 %				
Structural Compone... - Outcome 9		83.814 %				
Structural Compone... - Outcome 8		81.812 %				
Structural Compone... - Outcome 8		81.812 %				

Şekil 4.33. Table view ekranı



Explore ekranlarıyla ilgili bir detay olarak; üretken tasarım çalışmasında maliyet hesaplaması Fusion 360 malzeme kütüphanesinde bulunan malzemeler için aPriori altyapısı ile hesaplanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan malzemeler Fusion 360 kütüphanesinde mevcut olmadığı için sonradan malzeme tanımlaması gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple “Explore” çıktılarında maliyet hesaplaması yapılmamıştır.

4.5.1. Üretken tasarım iterasyonu çıktıları




Üretken tasarım iterasyonları sonucunda “Üretken Tasarım Çalışması-I (Structural Component Study-I)” kurgusunda 9 adet, Üretken Tasarım Çalışması-II (Structural Component Study-II) kurgusunda 9 adet olmak üzere 18 adet aday tasarım elde edilmiştir.

“Properties view → özellik dağılımlı görünüm” dağılımları:




Bu kapsamda “Üretken Tasarım Çalışması-I (Structural Component Study-I)” için ulaşılan tasarım iterasyonları Şekil 4.34, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’da aktarılmıştır:

Structural Compone... - Outcome 1		Structural Compone... - Outcome 2		Structural Compon... - Outcome 3	
					
Properties		Properties		Properties	
Status	Converged	Status	Completed	Status	Converged
Material	EOS Stainless Steel PH1	Material	EOS Stainless Steel PH1	Material	EOS Stainless Steel PH1
Orientation	-	Orientation	X+	Orientation	Y+
Manufacturing method	Unrestricted	Manufacturing method	Additive	Manufacturing method	Additive
Visual similarity	Unique	Visual similarity	Unique	Visual similarity	Unique
Production volume (pcs.)	-	Production volume (pcs.)	-	Production volume (pcs.)	-
Piece part cost		Piece part cost		Piece part cost	
Range (USD)	-	Range (USD)	-	Range (USD)	-
Median (USD)	-	Median (USD)	-	Median (USD)	-
Fully burdened cost		Fully burdened cost		Fully burdened cost	
Range (USD)	-	Range (USD)	-	Range (USD)	-
Median (USD)	-	Median (USD)	-	Median (USD)	-
Volume (mm ³)	9,728.13	Volume (mm ³)	11,607.083	Volume (mm ³)	10,834.301
Mass (kg)	0.076	Mass (kg)	0.091	Mass (kg)	0.085
Max von Mises stress (MPa)	519.943	Max von Mises stress (MPa)	518.496	Max von Mises stress (MPa)	519.748
Factor of safety limit	2.5	Factor of safety limit	2.5	Factor of safety limit	2.5
Min factor of safety	2.5	Min factor of safety	2.507	Min factor of safety	2.501
Max displacement global (mm)	0.59	Max displacement global (mm)	0.357	Max displacement global (mm)	0.52

Şekil 4.34. “Üretken tasarım çalışması-I” çıktıları 1




Structural Compon... - Outcome 4		Structural Compon... - Outcome 5		Structural Compon... - Outcome 6	
					
Properties		Properties		Properties	
Status	Converged	Status	Converged	Status	Completed
Material	EOS Stainless Steel PH1	Material	EOS Stainless Steel PH1	Material	EOS Stainless Steel PH1
Orientation	Z+	Orientation	X-	Orientation	Y-
Manufacturing method	Additive	Manufacturing method	Additive	Manufacturing method	Additive
Visual similarity	Unique	Visual similarity	Unique	Visual similarity	Unique
Production volume (pcs.)	-	Production volume (pcs.)	-	Production volume (pcs.)	-
Piece part cost		Piece part cost		Piece part cost	
Range (USD)	-	Range (USD)	-	Range (USD)	-
Median (USD)	-	Median (USD)	-	Median (USD)	-
Fully burdened cost		Fully burdened cost		Fully burdened cost	
Range (USD)	-	Range (USD)	-	Range (USD)	-
Median (USD)	-	Median (USD)	-	Median (USD)	-
Volume (mm ³)	11,490.235	Volume (mm ³)	10,167.18	Volume (mm ³)	10,067.408
Mass (kg)	0.09	Mass (kg)	0.079	Mass (kg)	0.079
Max von Mises stress (MPa)	519.813	Max von Mises stress (MPa)	519.993	Max von Mises stress (MPa)	694.04
Factor of safety limit	2.5	Factor of safety limit	2.5	Factor of safety limit	2.5
Min factor of safety	2.501	Min factor of safety	2.5	Min factor of safety	1.873
Max displacement global (mm)	0.493	Max displacement global (mm)	0.619	Max displacement global (mm)	0.719

Şekil 4.35. “Üretken tasarım çalışması-I” çıktıları 2




Structural Compone... - Outcome 7		Structural Compon... - Outcome 8		Structural Compon... - Outcome 9	
					
Properties		Properties		Properties	
Status	Completed	Status	Converged	Status	Converged
Material	EOS Stainless Steel PH1	Mat... Quenched and Tempered 4140 Cr...		Mat... Quenched and Tempered 4140 Cr...	
Orientation	Z-	Orientation	X+, Y+, Z+, X-, Y-, Z-	Orientation	Unrestricted
Manufacturing method	Additive	Manufacturing method	3 axis milling	Manufacturing method	5 axis milling
Visual similarity	Unique	Visual similarity	Group 2	Visual similarity	Group 1
Production volume (pcs.)	-	Production volume (pcs.)	-	Production volume (pcs.)	-
Piece part cost		Piece part cost		Piece part cost	
Range (USD)	-	Range (USD)	-	Range (USD)	-
Median (USD)	-	Median (USD)	-	Median (USD)	-
Fully burdened cost		Fully burdened cost		Fully burdened cost	
Range (USD)	-	Range (USD)	-	Range (USD)	-
Median (USD)	-	Median (USD)	-	Median (USD)	-
Volume (mm ³)	10,654.266	Volume (mm ³)	11,371.176	Volume (mm ³)	11,131.699
Mass (kg)	0.083	Mass (kg)	0.089	Mass (kg)	0.087
Max von Mises stress (MPa)	762.203	Max von Mises stress (MPa)	395.955	Max von Mises stress (MPa)	395.618
Factor of safety limit	2.5	Factor of safety limit	2.5	Factor of safety limit	2.5
Min factor of safety	1.706	Min factor of safety	2.5	Min factor of safety	2.502
Max displacement global (mm)	0.597	Max displacement global (mm)	0.437	Max displacement global (mm)	0.398

Şekil 4.36. “Üretken tasarım çalışması-I” çıktıları 3




“Üretken Tasarım Çalışması-II (Structural Component Study-II)” için ulaşılan tasarım iterasyonları Şekil 4.37, Şekil 4.38 ve Şekil 4.39’ da paylaşılmıştır:

Structural Compone... - Outcome 1		Structural Compone... - Outcome 2		Structural Compon... - Outcome 3	
					
Properties		Properties		Properties	
Status	Completed	Status	Converged	Status	Converged
Material	EOS MaragingSteel MS1	Material	EOS MaragingSteel MS1	Material	EOS MaragingSteel MS1
Orientation	-	Orientation	X+	Orientation	Y+
Manufacturing method	Unrestricted	Manufacturing method	Additive	Manufacturing method	Additive
Visual similarity	Unique	Visual similarity	Unique	Visual similarity	Unique
Production volume (pcs.)	-	Production volume (pcs.)	-	Production volume (pcs.)	-
Piece part cost	-	Piece part cost	-	Piece part cost	-
Range (USD)	-	Range (USD)	-	Range (USD)	-
Median (USD)	-	Median (USD)	-	Median (USD)	-
Fully burdened cost	-	Fully burdened cost	-	Fully burdened cost	-
Range (USD)	-	Range (USD)	-	Range (USD)	-
Median (USD)	-	Median (USD)	-	Median (USD)	-
Volume (mm ³)	8,679.207	Volume (mm ³)	9,439.286	Volume (mm ³)	9,898.14
Mass (kg)	0.07	Mass (kg)	0.076	Mass (kg)	0.08
Max von Mises stress (MPa)	908.887	Max von Mises stress (MPa)	759.979	Max von Mises stress (MPa)	759.24
Factor of safety limit	2.5	Factor of safety limit	2.5	Factor of safety limit	2.5
Min factor of safety	2.09	Min factor of safety	2.5	Min factor of safety	2.503
Max displacement global (mm)	0.967	Max displacement global (mm)	1.065	Max displacement global (mm)	0.82

Şekil 4.37. “Üretken tasarım çalışması-II” çıktıları 1

Structural Compon... - Outcome 4		Structural Compon... - Outcome 5		Structural Compon... - Outcome 6	
					
Properties		Properties		Properties	
Status	Converged	Status	Converged	Status	Converged
Material	EOS MaragingSteel MS1	Material	EOS MaragingSteel MS1	Material	EOS MaragingSteel MS1
Orientation	Z+	Orientation	X-	Orientation	Y-
Manufacturing method	Additive	Manufacturing method	Additive	Manufacturing method	Additive
Visual similarity	Unique	Visual similarity	Unique	Visual similarity	Unique
Production volume (pcs.)	-	Production volume (pcs.)	-	Production volume (pcs.)	-
Piece part cost	-	Piece part cost	-	Piece part cost	-
Range (USD)	-	Range (USD)	-	Range (USD)	-
Median (USD)	-	Median (USD)	-	Median (USD)	-
Fully burdened cost	-	Fully burdened cost	-	Fully burdened cost	-
Range (USD)	-	Range (USD)	-	Range (USD)	-
Median (USD)	-	Median (USD)	-	Median (USD)	-
Volume (mm ³)	9,948.855	Volume (mm ³)	9,229.389	Volume (mm ³)	9,849.711
Mass (kg)	0.08	Mass (kg)	0.074	Mass (kg)	0.079
Max von Mises stress (MPa)	759.683	Max von Mises stress (MPa)	759.984	Max von Mises stress (MPa)	759.991
Factor of safety limit	2.5	Factor of safety limit	2.5	Factor of safety limit	2.5
Min factor of safety	2.501	Min factor of safety	2.5	Min factor of safety	2.5
Max displacement global (mm)	0.802	Max displacement global (mm)	1.011	Max displacement global (mm)	1.004

Şekil 4.38. “Üretken tasarım çalışması-II” çıktıları 2

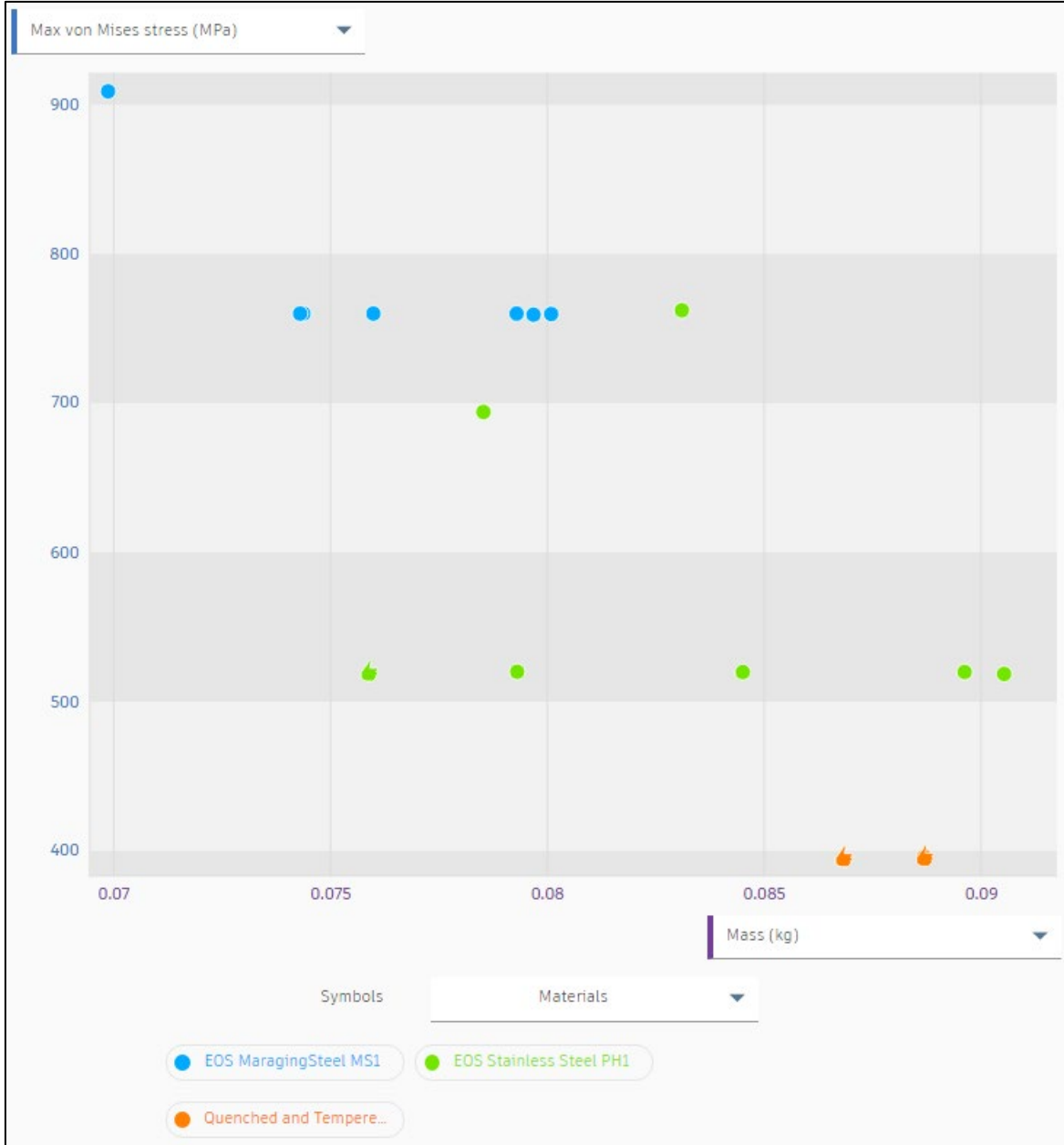
Structural Compo... - Outcome 7		Structural Compon... - Outcome 8		Structural Compo... - Outcome 9	
					
Properties		Properties		Properties	
Status	Converged	Status	Converged	Status	Converged
Material	EOS MaragingSteel MS1	Material	Quenched and Tempered 4140 Cr-...	Material	Quenched and Tempered 4140 Cr-...
Orientation	Z-	Orientation	X+, Y+, Z+, X-, Y-, Z-	Orientation	Unrestricted
Manufacturing method	Additive	Manufacturing method	3 axis milling	Manufacturing method	5 axis milling
Visual similarity	Unique	Visual similarity	Group 2	Visual similarity	Group 1
Production volume (pcs.)	-	Production volume (pcs.)	-	Production volume (pcs.)	-
Piece part cost	-	Piece part cost	-	Piece part cost	-
Range (USD)	-	Range (USD)	-	Range (USD)	-
Median (USD)	-	Median (USD)	-	Median (USD)	-
Fully burdened cost	-	Fully burdened cost	-	Fully burdened cost	-
Range (USD)	-	Range (USD)	-	Range (USD)	-
Median (USD)	-	Median (USD)	-	Median (USD)	-
Volume (mm ³)	9,238.578	Volume (mm ³)	11,371.176	Volume (mm ³)	11,131.699
Mass (kg)	0.074	Mass (kg)	0.089	Mass (kg)	0.087
Max von Mises stress (MPa)	759.963	Max von Mises stress (MPa)	395.955	Max von Mises stress (MPa)	395.618
Factor of safety limit	2.5	Factor of safety limit	2.5	Factor of safety limit	2.5
Min factor of safety	2.5	Min factor of safety	2.5	Min factor of safety	2.502
Max displacement global (mm)	1.121	Max displacement global (mm)	0.437	Max displacement global (mm)	0.398

Şekil 4.39. “Üretken tasarım çalışması-II” çıktıları 3

“Scatter plot view →dağılım grafiği” sonuçları

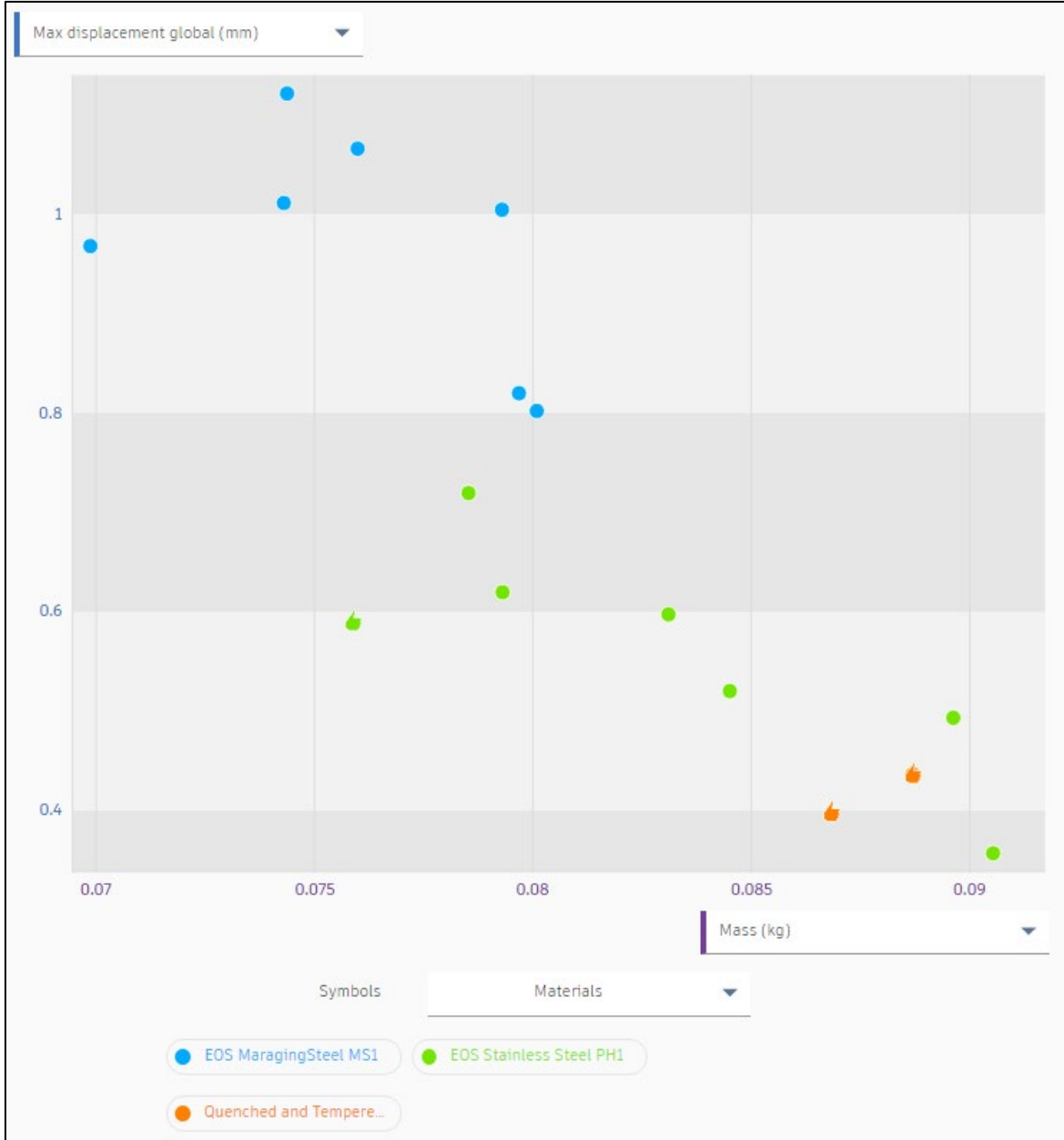
Üretken tasarım iterasyonları sonrasında erişilen 18 tasarım önerisinin scatter plot ortamındaki dağılımları aşağıdaki paylaşılmıştır.

Üretken tasarım çıktılarının aday malzeme kapsamında; maksimum von Mises gerilimi (MPa) x kütle (kg) dağılımı Şekil 4.40’ daki gibidir:



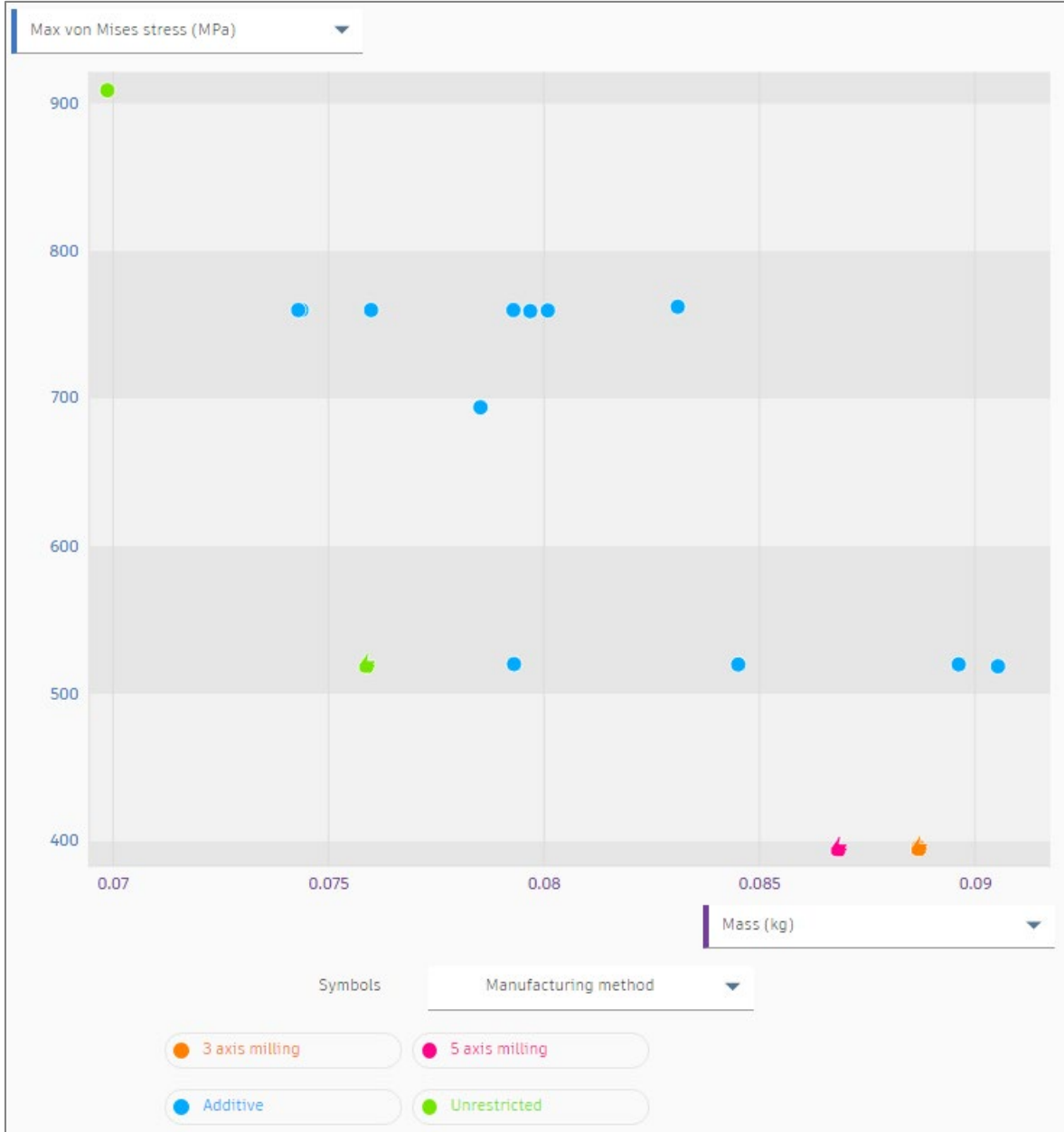
Şekil 4.40. Maksimum von Mises gerilmesi (MPa) x kütle (kg) dağılımı (aday malzeme bazlı)

Aday malzeme kapsamında; maksimum yer değiştirme-global (mm) x Kütle (kg) dağılımını Şekil 4.41' deki şekildedir:

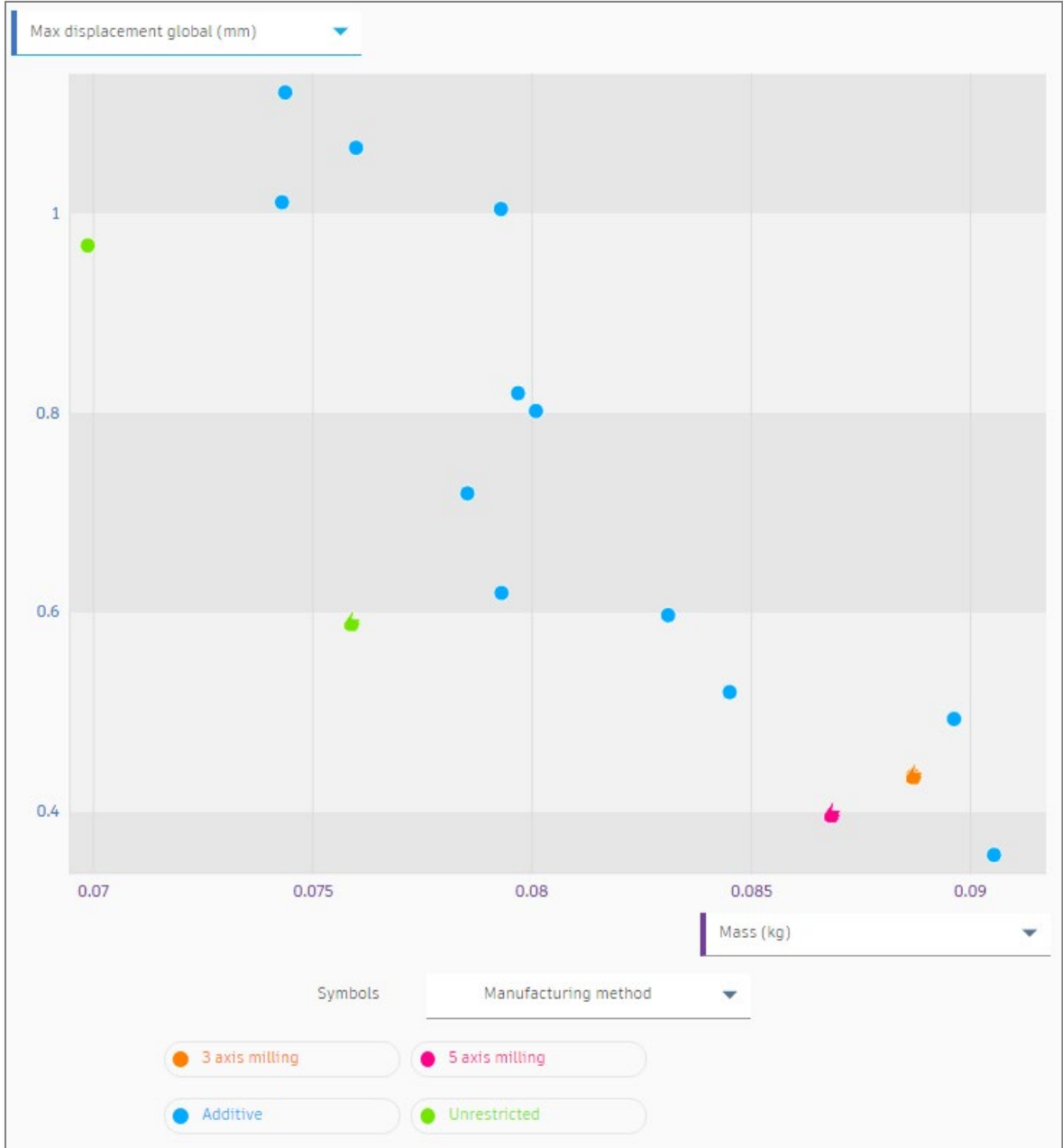


Şekil 4.41. Maksimum yer değiştirme-global (mm) x kütle (kg) dağılımı (aday malzeme bazlı)

Tercih edilen imalat metotları kapsamında; maksimum von Mises gerilimi (MPa) x kütle (kg) dağılımı (imalat metodu bazlı) (Şekil 4.42) ve maksimum yer değiştirme-global (mm) x kütle (kg) dağılımı (imalat metodu bazlı) (Şekil 4.43) aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.42. Maksimum von Mises gerilimi (MPa) x kütle (kg) dağılımı (imalat metodu bazlı)



Şekil 4.43. Maksimum yer değiştirme-global (mm) x kütle (kg) dağılımı (imalat metodu bazlı)

"Table view →tablo görünümü" sonuçları

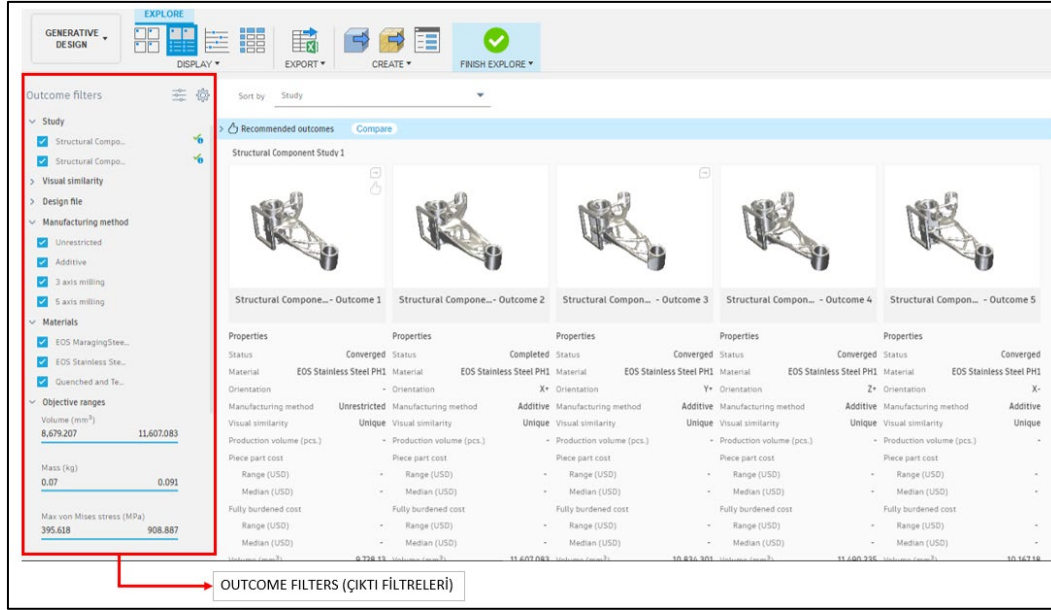
Üretken tasarım sonuçlarının "table view" görüntüleri Çizelge 4.1' deki gibidir:

Çizelge 4.1. Table view (tablo görünümü üretim çıktıları)

#	Tasarım Çıktısı	Tavsiye Oranı	Malzeme	İmalat Metodu	Hacim (mm ³)	Kütle (kg)	Maks. von Mises Gerilmesi(MPa)	Hedef Emniyet Katsayısı	Min Emniyet Katsayısı	Max Yer Değiştirme-Global (mm)
1	Str. Com. Std 1 - Outcome 1	87.361%	EOS Stainless Steel PH1	Unrestricted	9728.130	0.076	519.943	2.50	2.500	0.590
2	Str. Com. Std 2 - Outcome 9	83.814%	Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel	5 axis milling	11131.699	0.087	395.618	2.50	2.502	0.398
3	Str. Com. Std 1 - Outcome 9	83.814%	Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel	5 axis milling	11131.699	0.087	395.618	2.50	2.502	0.398
4	Str. Com. Std 2 - Outcome 8	81.812%	Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel	3 axis milling	11371.176	0.089	395.955	2.50	2.500	0.437
5	Str. Com. Std 1 - Outcome 8	81.812%	Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel	3 axis milling	11371.176	0.089	395.955	2.50	2.500	0.437
6	Str. Com. Std 1 - Outcome 3	70.727%	EOS Stainless Steel PH1	Additive	10834.301	0.085	519.748	2.50	2.501	0.520
7	Str. Com. Std 1 - Outcome 5	70.551%	EOS Stainless Steel PH1	Additive	10167.180	0.079	519.993	2.50	2.500	0.619
8	Str. Com. Std 1 - Outcome 2	64.231%	EOS Stainless Steel PH1	Additive	11607.083	0.091	518.496	2.50	2.507	0.357
9	Str. Com. Std 1 - Outcome 4	64.157%	EOS Stainless Steel PH1	Additive	11490.235	0.090	519.813	2.50	2.501	0.493
10	Str. Com. Std 2 - Outcome 4	55.083%	EOS MaragingSteel MS1	Additive	9948.855	0.080	759.683	2.50	2.501	0.802
11	Str. Com. Std 2 - Outcome 3	54.005%	EOS MaragingSteel MS1	Additive	9898.140	0.080	759.240	2.50	2.503	0.820
12	Str. Com. Std 2 - Outcome 5	48.925%	EOS MaragingSteel MS1	Additive	9229.389	0.074	759.984	2.50	2.500	1.011
13	Str. Com. Std 2 - Outcome 7	47.819%	EOS MaragingSteel MS1	Additive	9238.578	0.074	759.963	2.50	2.500	1.121
14	Str. Com. Std 2 - Outcome 2	47.602%	EOS MaragingSteel MS1	Additive	9439.286	0.076	759.979	2.50	2.500	1.065
15	Str. Com. Std 2 - Outcome 6	46.693%	EOS MaragingSteel MS1	Additive	9849.711	0.079	759.991	2.50	2.500	1.004
16	Str. Com. Std 1 - Outcome 7	2.248%	EOS Stainless Steel PH1	Additive	10654.266	0.083	762.203	2.50	1.706	0.597
17	Str. Com. Std 2 - Outcome 1	0.000%	EOS MaragingSteel MS1	Unrestricted	8679.207	0.070	908.887	2.50	2.090	0.967
18	Str. Com. Std 1 - Outcome 6	0.000%	EOS Stainless Steel PH1	Additive	10067.408	0.079	694.040	2.50	1.873	0.719

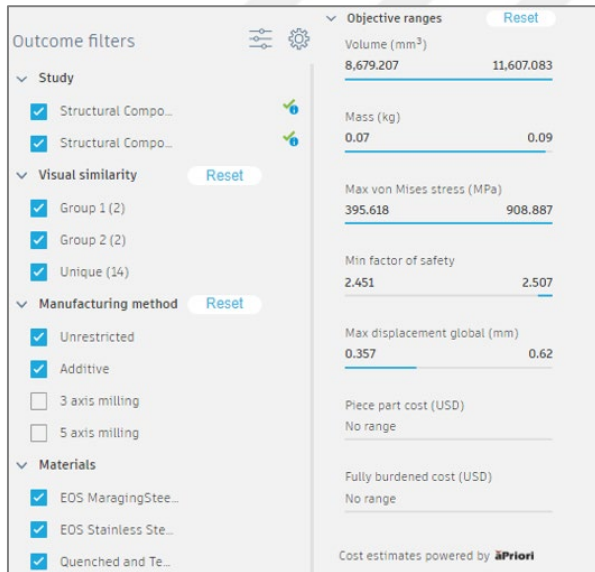
4.5.2. Üretken tasarım çıktıları arasından uygun tasarımın seçilmesi

Şekil 4. 44' te üretken tasarım çıktılarının incelenebildiği Explore (Keşfet) ekranındaki Outcome Filters (Çıktı Filtreleri); aday modelleri, başlatılan üretken tasarım çalışması, görsel benzerlik, üretim metodu, malzeme ve iterasyon öncesi belirlenen hedefler (hacim, kütle, gerilme, emniyet katsayısı, birim yer değiştirme gibi) çerçevesinde filtreleme imkanı sunar. Filtrelenen aday tasarımlar üretken tasarım görüntüleme pencerelerine de yansıtıldığından istenen ortamda (properties view, scatter plot, table) modeller üzerine yoğunlaşılabilir.



Şekil 4.44. Outcome filters (çıkı filtreleri)

Bu kapsamda seçilen Outcome Filters (Çıkı Filtreleri) kısıtlamaları Şekil 4.45'teki gibidir:



Şekil 4.45. Outcome filters (çıkı filtreleri) kısıtlamaları

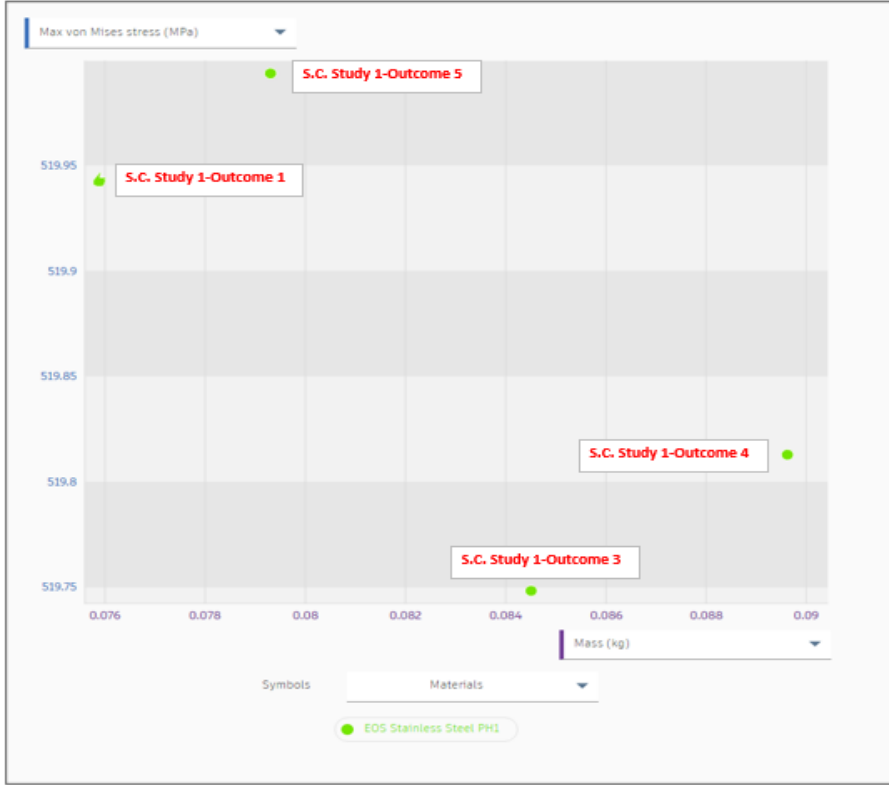
Outcome filter (çıkı filtresi) kısıtlamaları seçimleri aşağıdaki gibi yapılmıştır:

Study (çalışma) kısmında; kurgulanan iki üretken tasarım iterasyonunun sonuçları işaretlenmiştir. Visual similarity (görsel benzerlik) kısmında, iterasyon sonrasında birbirine benzerlik gösteren üretken tasarım çıktıları (Ör: Group 1/Group 2) ve benzersiz olan çıktılar (Uniqe) sınıflandırılır.

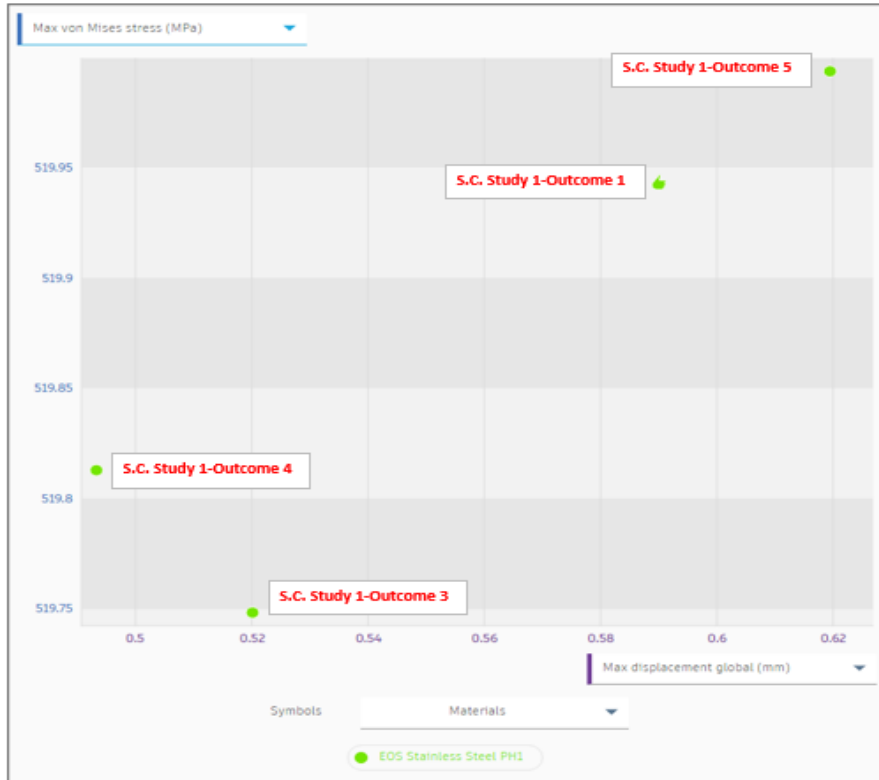
Manufacturing method (imalat metotları) kısmında “unrestricted (sınırlanmamış)” ve “additive (eklemeli)” üretim metotları seçilmiştir, 3 eksen ve 5 eksen frezeleme imalat metotları için belirlenen kriterler neticesinde erişilen tasarım iterasyonu sonuçları üretken tasarım çıktıları arasında değerlendirilmek üzere üretken tasarım ürün ağacına eklense de çalışmanın kapsamı eklemeli imalata yönelik tasarım modernizasyonlarını içerdiğinden manufacturing methods (imalat metotları) filtrelerine dahil edilmemişlerdir. Manufacturing method (imalat metotları) kısmı, dolaylı olarak iterasyonlarda kullanılan malzemeleri de belirlediğinden materials (malzemeler) sekmesi için ek bir seçim gerçekleştirilmemiştir.

Objectives ranges (hedef aralıkları) kısmında ise min safety factor (minimum güvenlik katsayısı) 2,451 ve 2,507 sınırlarına çekilmiş; max displacement global mm (maksimum yer değiştirme) sınırları 0,357-0,62 olarak seçilmiştir. Mass (kütle) kriterinde 70 gr ile 90 gr aralığı seçilmiştir. Üretken tasarım iterasyonunda belirtilen sınır şartlarına göre gerçekleştirilen üretken tasarım iterasyonlarının devam edebilmesi ve model geometrilerinin oluşturulabilmesi için minimum emniyet katsayısı esnetilmektedir. Üretken tasarım çıktıları sonucu tercih edilen model çıktısı T-Spline Modelling alanında düzenlenerek istenen mekanik özellikler ve geometrilere erişilir.

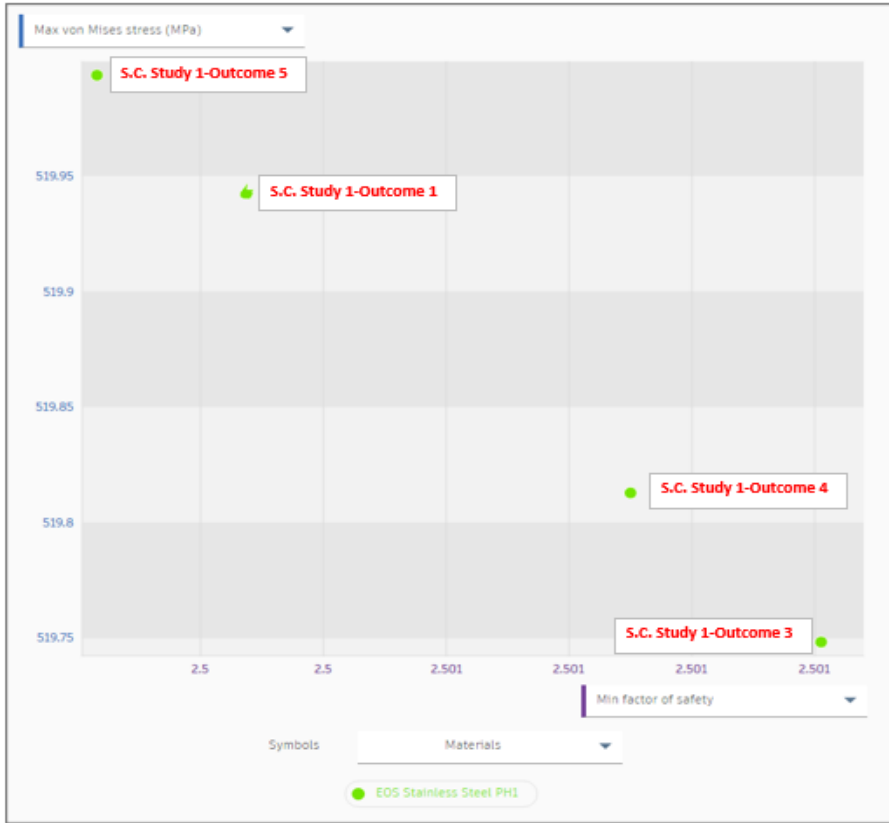
Outcome filter (çıkıtı filtresi) kısıtlamaları sonrasında üretken tasarım iterasyonları sonrasında elde edilen 18 aday model, 4' e indirilmiştir. Modellerin Scatter Plot View (Dağılım Grafiği Görünümü) dağılımları Şekil 4.46, Şekil 4.47, Şekil 4.48, Şekil 4.49 ve Şekil 4.50' de paylaşılmıştır.



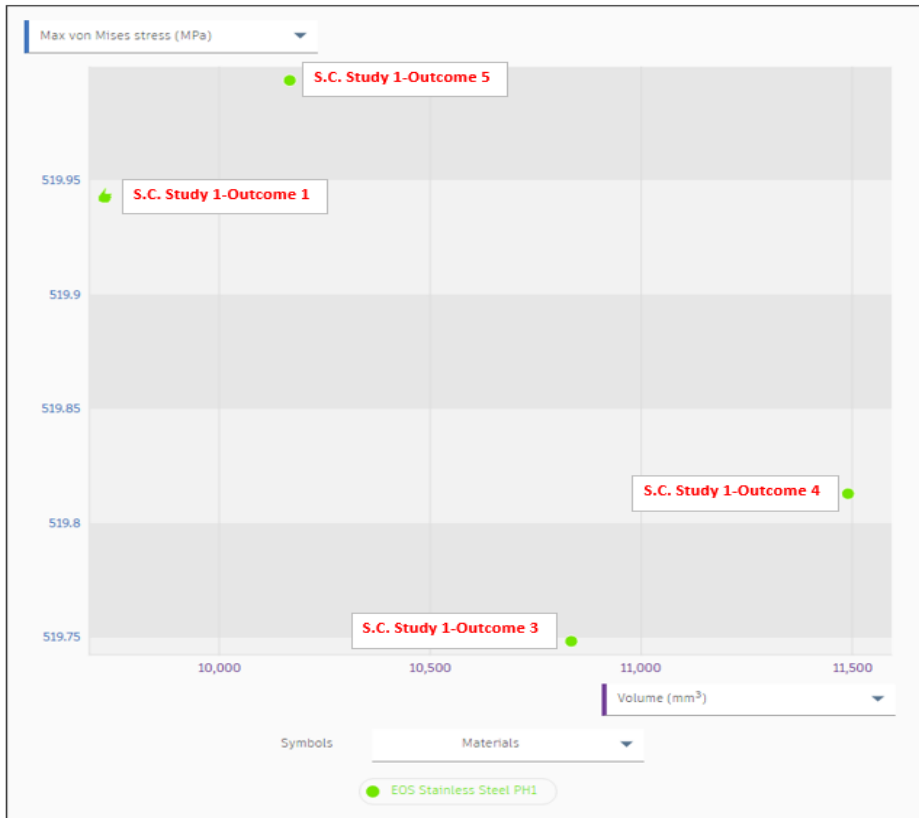
Şekil 4.46. Maksimum von Mises gerilimi x kütle dağılımı



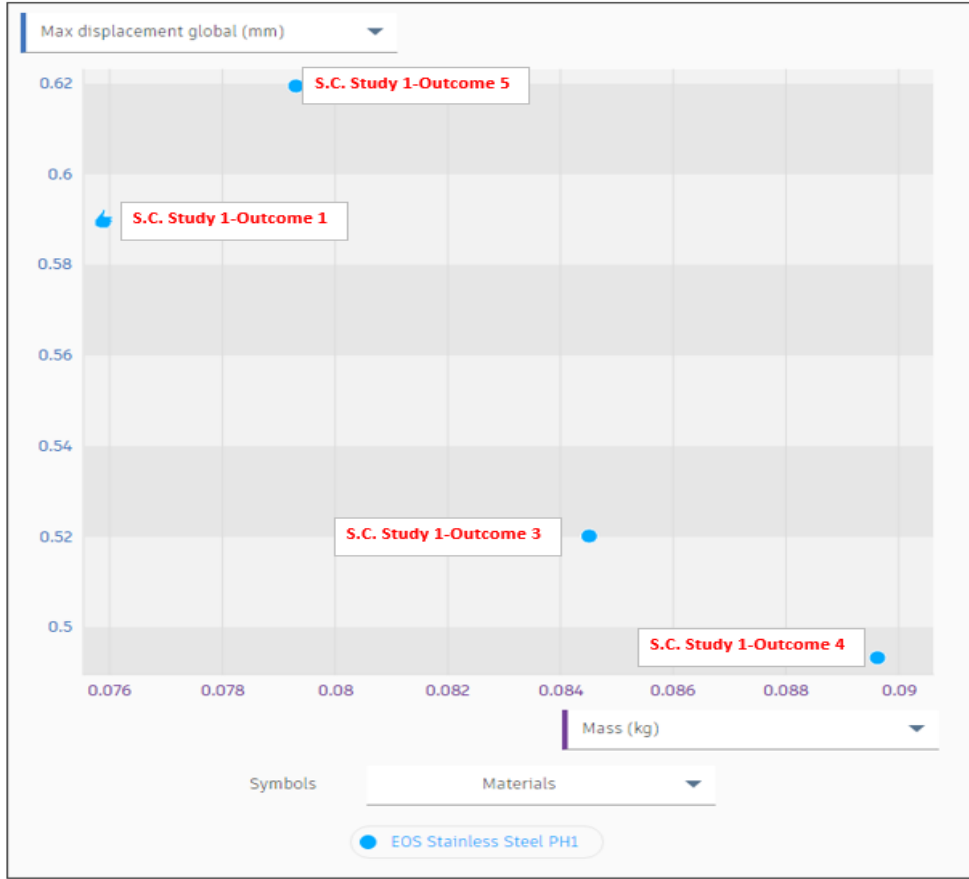
Şekil 4.47. Maksimum von Mises gerilimi x maksimum yer değiştirme-global dağılımı



Şekil 4.48. Maksimum von Mises gerilimi x minimum emniyet katsayısı dağılımı

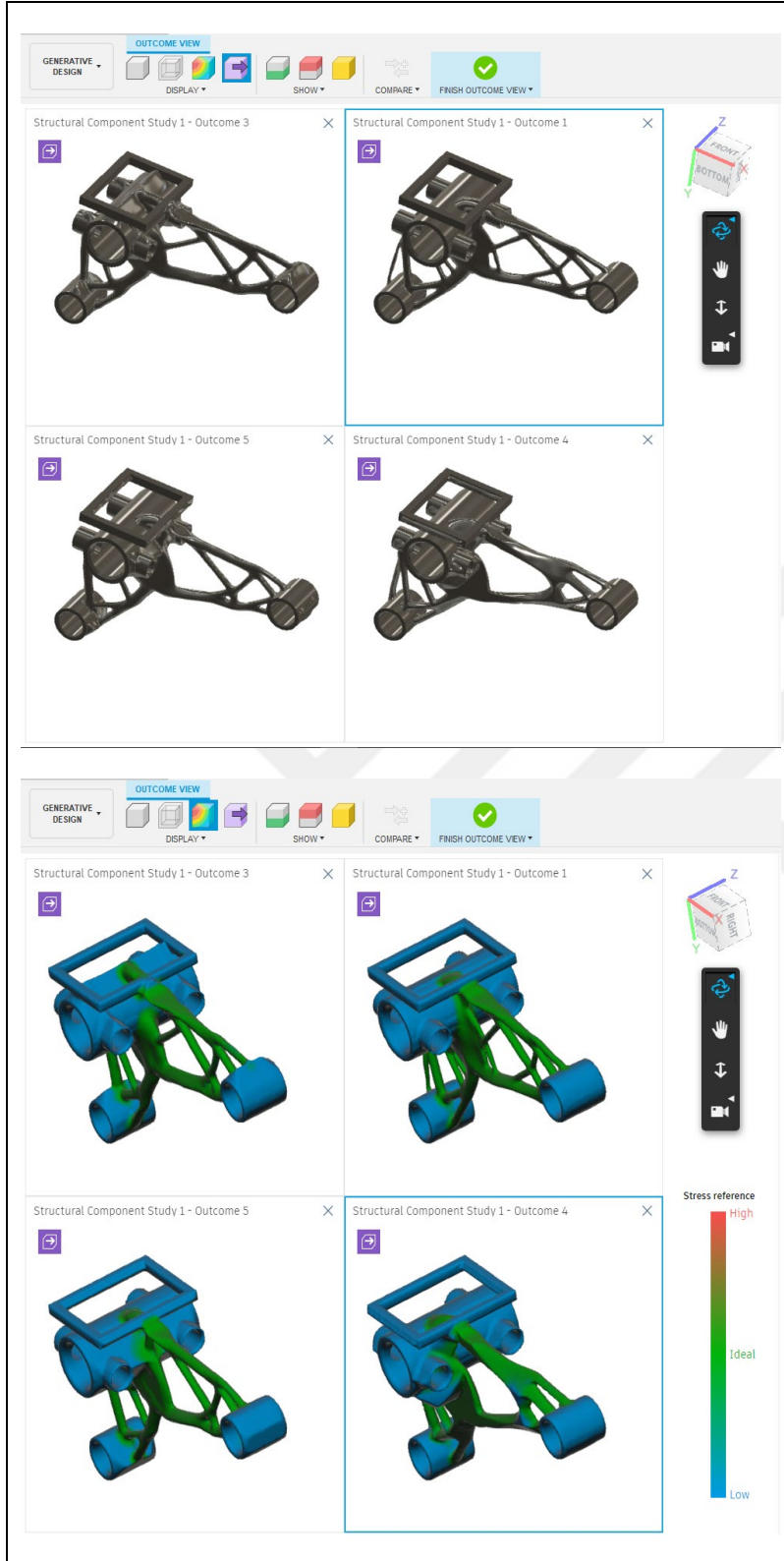


Şekil 4.49. Maksimum von Mises gerilimi x hacim dağılımı

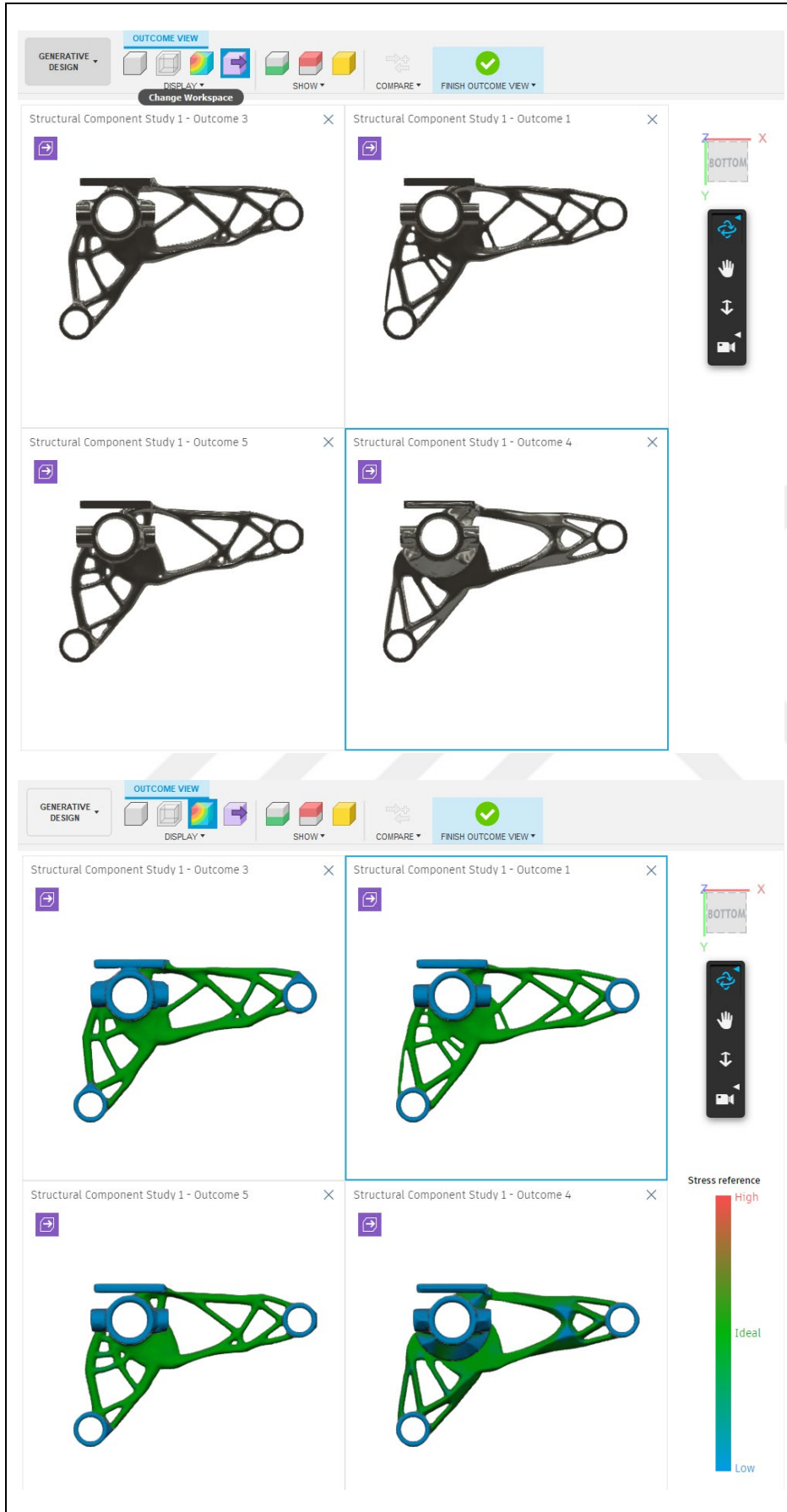


Şekil 4.50. Maksimum yer değiştirme-global x kütle dağılımı

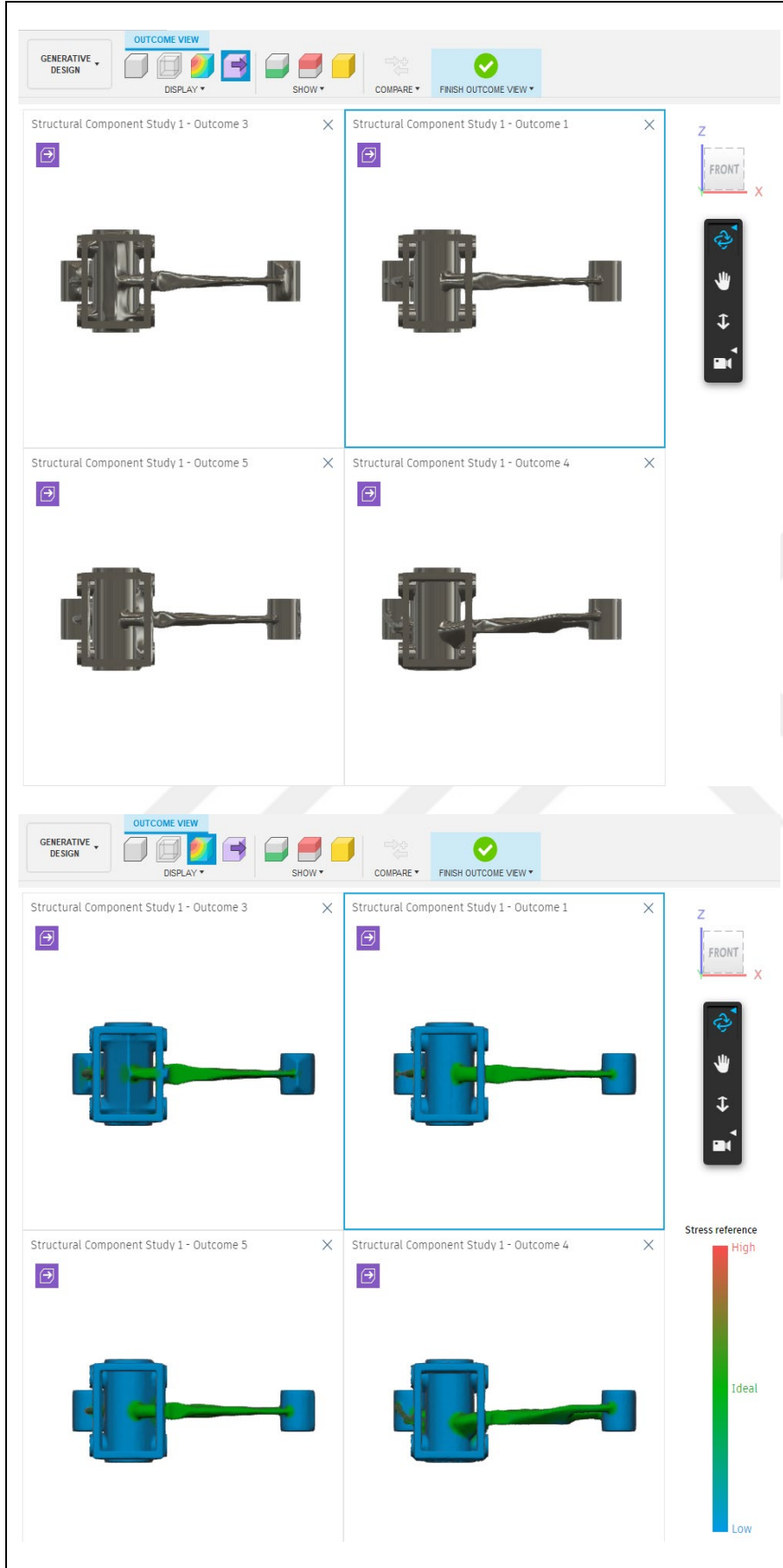
Aday model geometrileri ve modellerin Explore (keşfet) ekranındaki stres dağılımları, farklı düzlemlerden alınan bakış açılarıyla Şekil 4.51, Şekil 4.52, Şekil 4.53 ve Şekil 4.54' te verilmiştir.



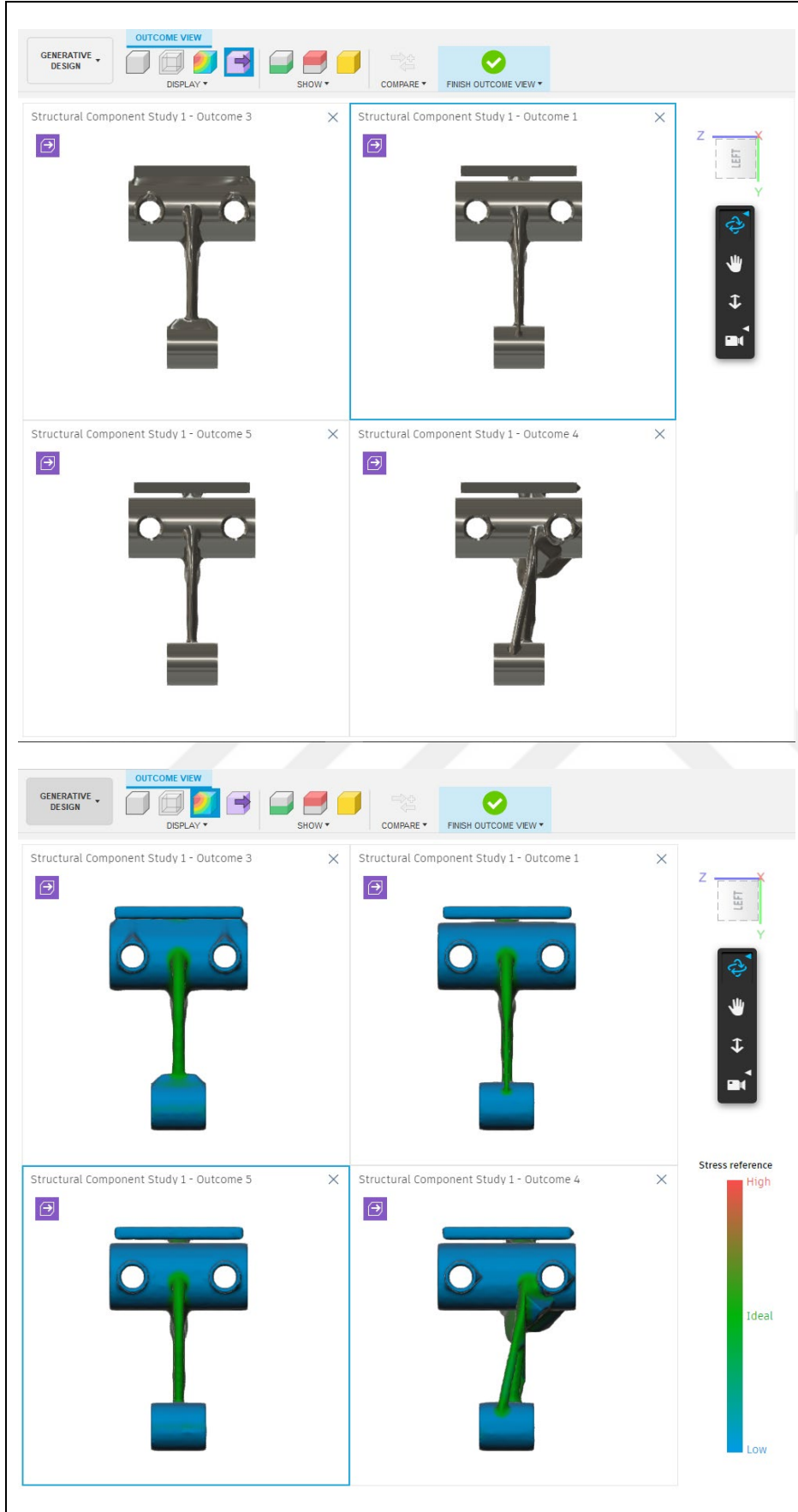
Şekil 4.51. Aday modeller ve stres dağılımları-I



Şekil 4.52. Aday modeller ve stres dağılımları-II



Şekil 4.53. Aday modeller ve stres dağılımları-III



Şekil 4.54. Aday modeller ve stres dağılımları-IV

4.5.3. Üretken tasarım çıktıları arasında uygun tasarımın seçilmesi

Outcome Filters (Çıktı Filtreleri) kısmında, iterasyon öncesi belirlenen sınır koşullarından bazıları, optimum tasarıma daha da yaklaşmak amacıyla, daraltılmış ve neticede Üretken Tasarım İterasyonu-I (Structural Component Study-I) çalışma kurgusundan dört üretken tasarım çıktısı ön plana çıkmıştır. Aday modellerin analiz değerleri Çizelge 4.2’ deki gibidir. Modellerin aynı üretken tasarım kurgusunun sonucu olması sebebiyle çalışmanın malzemesi de EOS Stainless Steel PH1 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. Aday modellerin özellikleri

Tasarım Çıktısı	Tavsiye Oranı	Malzeme	Hacim (mm ³)	Kütle (kg)	Maks. von Mises Gerilmesi (MPa)	Hedef Emniyet Katsayısı	Min Emniyet Katsayısı	Maks. Yer Değiştirme-Global (mm)
Str. Com. Std 1 - Outcome 1	87%	EOS Stainless Steel PH1	9728.130	0.076	519.943	2.50	2.500	0.590
Str. Com. Std 1 - Outcome 3	71%	EOS Stainless Steel PH1	10834.301	0.085	519.748	2.50	2.501	0.520
Str. Com. Std 1 - Outcome 5	71%	EOS Stainless Steel PH1	10167.180	0.079	519.993	2.50	2.500	0.619
Str. Com. Std 1 - Outcome 4	64%	EOS Stainless Steel PH1	11490.235	0.090	519.813	2.50	2.501	0.493

Aday modeller;

Kütle minimizasyonu açısından değerlendirildiğinde Outcome-1; başlangıç modelinden 256 gram daha hafif olması ile diğer tasarımların önüne geçmektedir. Aday tasarımlardaki kütle eksilmesi Çizelge 4.3’ te listelenmiştir:

Çizelge 4.3. Aday modeller ve kütle hafifleme miktarları

Model Adı:	Hafifleme-Kütle Kaybı (g):
Structural Component Study 1 - Outcome 1	256
Structural Component Study 1 - Outcome 5	252
Structural Component Study 1 - Outcome 3	247
Structural Component Study 1 - Outcome 4	242

Maruz kalınan yükler ve çalışma koşulları karşısında Maksimum von Mises Gerilmesi (MPa) ve emniyet katsayısı değerleri birbirilerine oldukça yakındır (Çizelge 4.4):

Çizelge 4.4. Aday modellerin Maks. von Mises gerilimi (MPa) ve emniyet katsayısı değerleri

Model Adı:	En Yüksek von Mises Gerilmesi (MPa):	Min Emniyet Katsayısı:
Structural Component Study 1 - Outcome 1	519,943	2,500
Structural Component Study 1 - Outcome 3	519,748	2,501
Structural Component Study 1 - Outcome 5	519,993	2,500
Structural Component Study 1 - Outcome 4	519,813	2,501

Çizelge 4.5' ten yer değiştirme miktarları değerlendirildiğinde Outcome 4; 0,4933 mm yer değiştirme ile en az yer değiştirme miktarına sahip olsa da 89,624 gramlık ağırlığı ile aday malzemeler arasındaki en ağır tasarımıdır. Aday tasarımların yer değiştirme miktarları; model kütleleri ve maksimum von Mises gerilmesi değerleri ile birlikte kümülatif olarak değerlendirildiğinde 0,59 mm yer değiştirme miktarı ile Outcome-1 dikkat çekmektedir.

Çizelge 4.5. Aday modeller ve en yüksek yer değiştirme büyüklükleri

Model Adı:	Kütle (g):	En Yüksek von Mises Gerilmesi(MPa):	En Yüksek Yer Değiştirme (mm):
Structural Component Study 1 - Outcome 1	75,879	519,943	0,5900
Structural Component Study 1 - Outcome 3	84,508	519,748	0,5201
Structural Component Study 1 - Outcome 5	79,304	519,993	0,6195
Structural Component Study 1 - Outcome 4	89,624	519,813	0,4933

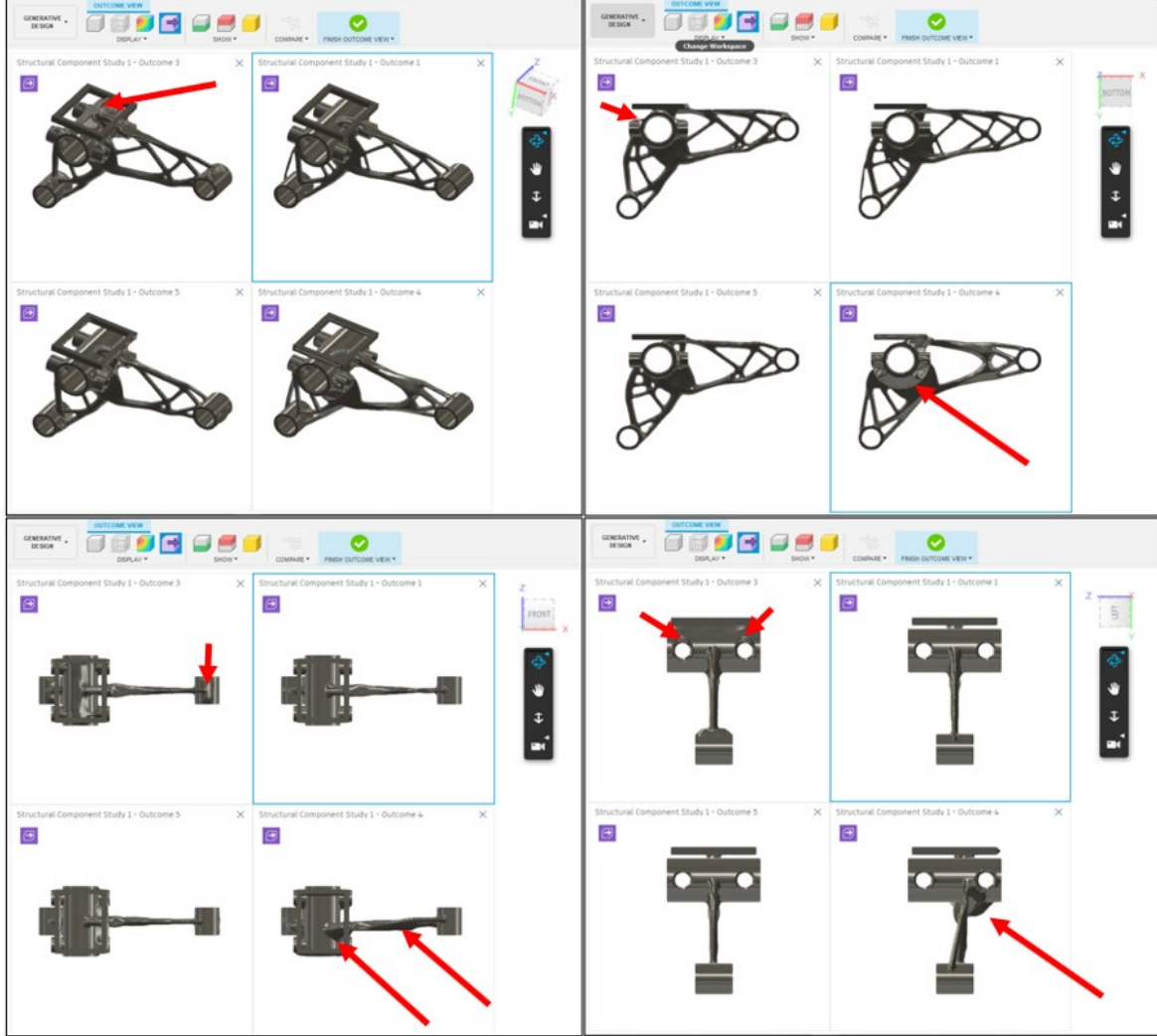
Fusion 360 yazılımının iteratif modelleri üretilebilirlik ve gereksinimleri karşılama olasılığına göre önerme oranları incelendiğinde sonuçlar Çizelge 4.6' daki gibidir:

Çizelge 4.6. Aday modeller için yazılım önerisi

Model Adı:	Tavsiye (%):
Structural Component Study 1 - Outcome 1	87%
Structural Component Study 1 - Outcome 3	71%
Structural Component Study 1 - Outcome 5	71%
Structural Component Study 1 - Outcome 4	64%

Aday modeller incelendiğinde bazı tasarım iterasyonlarında, parçanın dahil olduğu montaj ilişkisi veya maruz kaldığı yüklere ve çalışma koşullarına dayanımını etkileyecek herhangi

kritik durum veya risk oluşturmayan bölgelerde düzensiz malzeme yığılmaları gözlenmiştir. Orantısız malzeme yığılmaları Şekil 4.55’ te paylaşılmıştır.



Şekil 4.55. Tasarım iterasyonlarında orantısız yığılan örnek malzeme bölgeleri

Outcome-1 ve Outcome-2 aday geometrileri diğer parça modelleri ile karşılaştırıldığında malzemenin en dengeli yığıldığı modeller olarak ön plana çıkmıştır. Çalışmaya iki aday model arasından daha hafif olan “Outcome-1” aday modeli ile devam edilmesine karar verilmiştir. Seçilen model 39 iterasyon sonrası final halini almıştır. Seçilen modelin üretken tasarım uygulamasındaki iterasyon süreçleri Şekil 4.56’ da paylaşılmıştır.

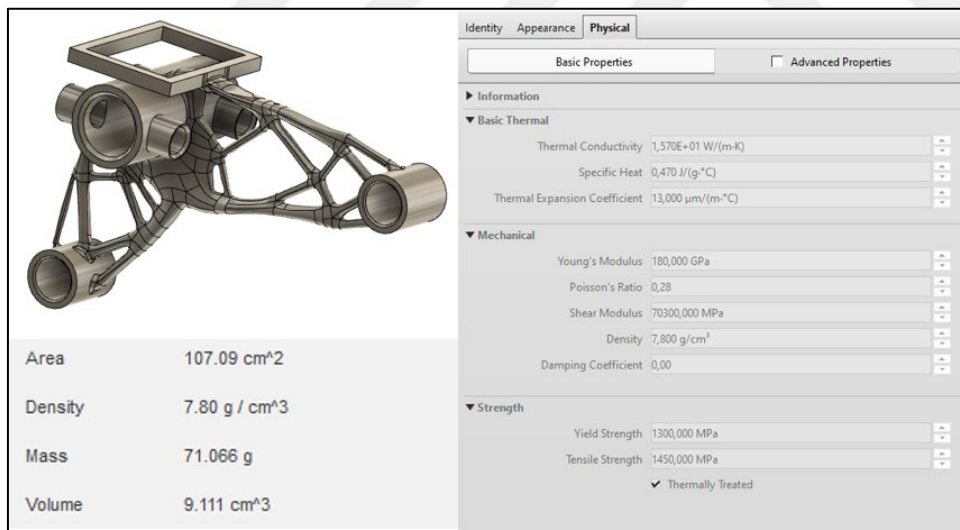
Modelin İlk Hali:		Üretken Tasarım İterasyonu Sonucu Elde Edilen Model:	
5	iterasyon	10	iterasyon
5	iterasyon	15	iterasyon
5	iterasyon	20	iterasyon
5	iterasyon	25	iterasyon
5	iterasyon	30	iterasyon
5	iterasyon	35	iterasyon
5	iterasyon	39	iterasyon

Şekil 4.56. Outcome-1 üretken tasarım iterasyonları

4.5.4. Seçilen modelin geometrisi ve mekanik özelliklerinin incelenmesi

Üretken tasarım, kullanıcının belirlediği parametreler ve sınır koşulları çerçevesinde, belirlenen amaca en uygun aday tasarımların üretildiği iteratif bir tasarım metodudur. Yazılım, hedeflenen isterleri sağlayabilecek en iyi sonuçlara erişebilmek için kullanıcının belirlemiş olduğu sınır koşullarını esneterek tasarım iterasyonları yapmaya devam eder. Bu sebeple üretken tasarım iterasyonu sonrasında seçilen model tekrar analize tabi tutulmalı ve analiz sonuçlarının tasarım gereksinimlerini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir.

Üretken tasarım iterasyonu nihai tasarım çıktısı olarak kullanılabilceği gibi elde edilen model kullanıcıların iyileştirme ve değişiklik yapmasına da olanak tanımaktadır. Bu kapsamda seçilen model, “Simulation” modülünde -üretken tasarım iterasyonunun başlangıcında belirlenen sınır koşulları ve yüklenmeler ile- tekrar statik analize tabi tutulmuştur. Parçanın fiziksel özellikleri ve malzeme özellikleri Şekil 4.57 ve Şekil 4.58’deki gibidir.



Şekil 4.57. Parça modeli, fiziksel özelleri ve malzeme özellikleri (malzeme kütüphanesi)

Malzeme özellikleri:

☐ **EOS Stainless Steel PH1**

Density	7.8E-06 kg / mm ³
Young's Modulus	180000 MPa
Poisson's Ratio	0.28
Yield Strength	1300 MPa
Ultimate Tensile Strength	1450 MPa
Thermal Conductivity	0.0157 W / (mm C)
Thermal Expansion Coefficient	1.3E-05 / C
Specific Heat	470 J / (kg C)

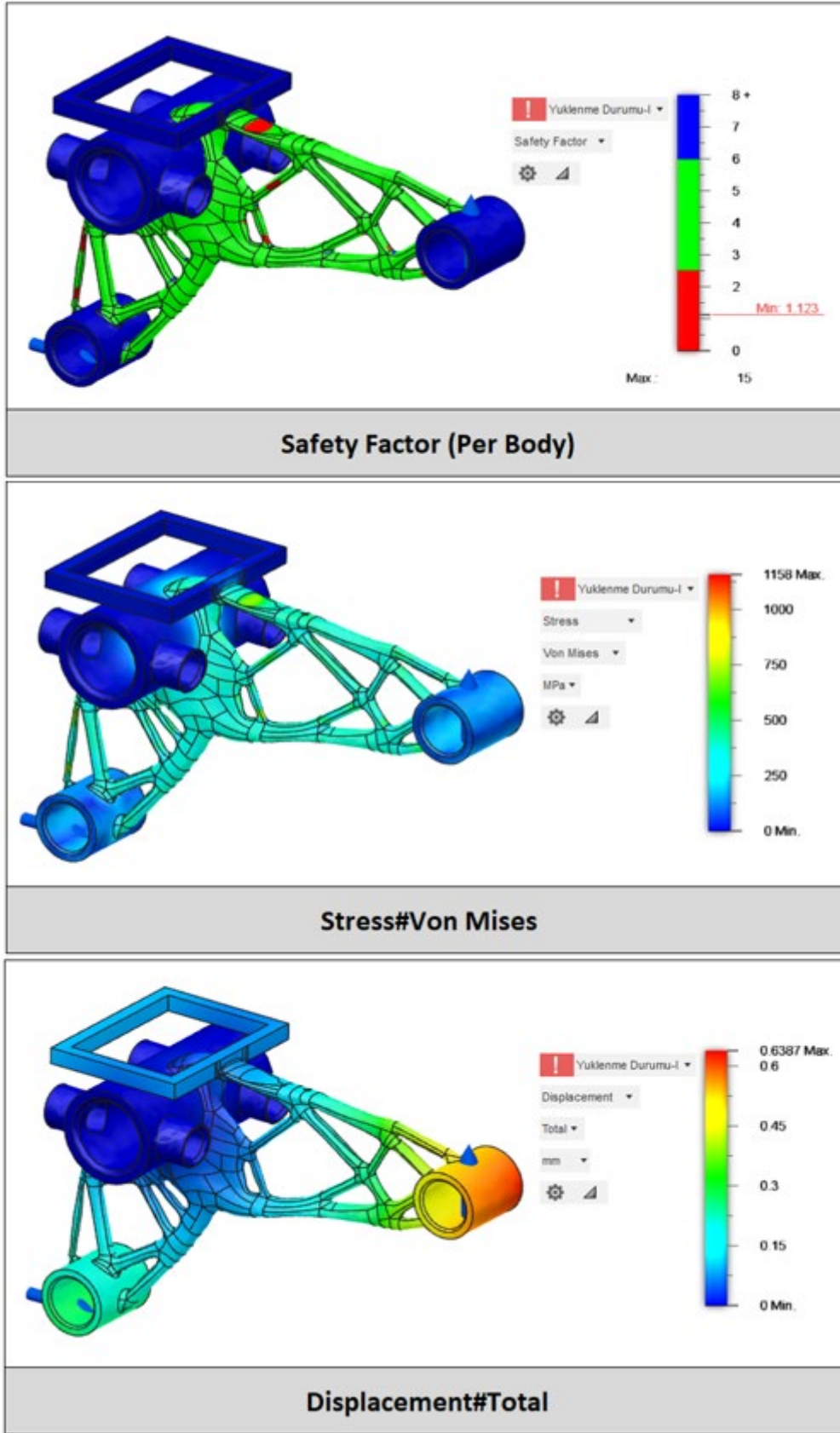
Şekil 4.58. “EOS Stainless Steel PH1” malzeme özellikleri

Analiz sonuçları Yüklenme Durumu-I için Şekil 4.59 ve Şekil 4.60; Yüklenme Durumu-II için Şekil 4.61, Şekil 4.62’ de aktarılmıştır.

Yüklenme durumu-I:

Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	1.123	15
Stress		
Von Mises	0.01564 MPa	1158 MPa
1st Principal	-130 MPa	874.5 MPa
3rd Principal	-1224 MPa	135.4 MPa
Normal XX	-1208 MPa	672.8 MPa
Normal YY	-652.7 MPa	849.2 MPa
Normal ZZ	-193.5 MPa	162.7 MPa
Shear XY	-367 MPa	441.3 MPa
Shear YZ	-152.8 MPa	134.8 MPa
Shear ZX	-158.3 MPa	154.3 MPa
Displacement		
Total	0 mm	0.6387 mm
X	-0.09891 mm	0.3048 mm
Y	-0.6385 mm	0.152 mm
Z	-0.02899 mm	0.0408 mm
Reaction Force		
Total	0 N	850.2 N
X	-800.4 N	594.3 N
Y	-479.7 N	695.6 N
Z	-111.8 N	115.8 N
Strain		
Equivalent	1.145E-07	0.007551
1st Principal	4.869E-08	0.006957
3rd Principal	-0.007997	-8.398E-08
Normal XX	-0.006532	0.003341
Normal YY	-0.003476	0.004656
Normal ZZ	-0.001295	0.00151
Shear XY	-0.00522	0.006276
Shear YZ	-0.002173	0.001918
Shear ZX	-0.002251	0.002195

Şekil 4.59. “Yüklenme Durumu-I” statik analiz sonuçları

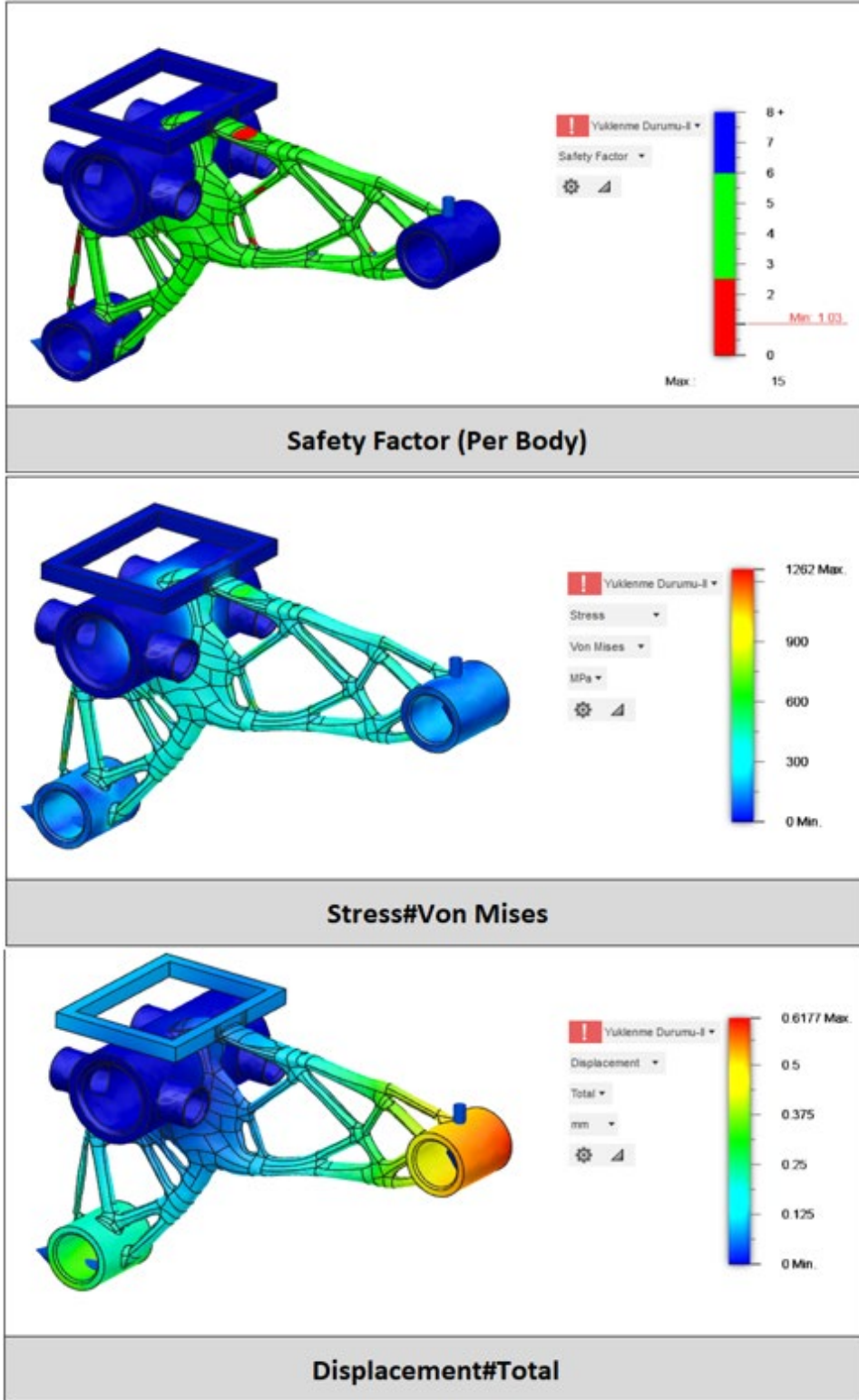


Şekil 4.60. Analiz değerleri sırasıyla: emniyet katsayısı, von Mises gerilmesi, toplam yer değiştirme

Yüklenme durumu-II:

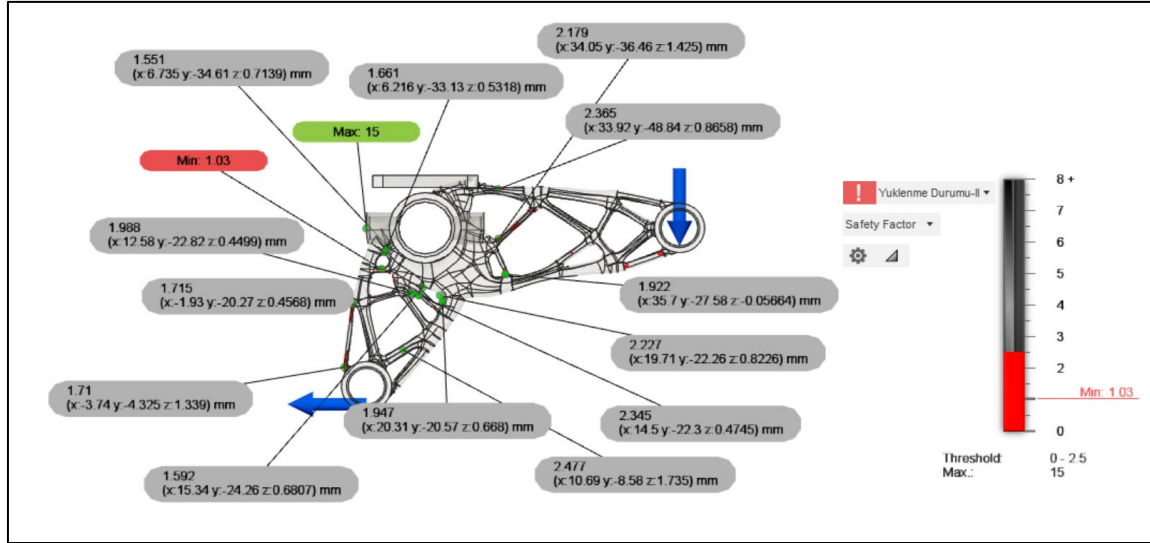
Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	1.03	15
Stress		
Von Mises	0.01475 MPa	1262 MPa
1st Principal	-128.8 MPa	1347 MPa
3rd Principal	-962.2 MPa	143 MPa
Normal XX	-649.5 MPa	1323 MPa
Normal YY	-934.1 MPa	646.9 MPa
Normal ZZ	-161 MPa	207.8 MPa
Shear XY	-482.6 MPa	384.7 MPa
Shear YZ	-147.9 MPa	167.3 MPa
Shear ZX	-155.6 MPa	153.7 MPa
Displacement		
Total	0 mm	0.6177 mm
X	-0.3268 mm	0.09431 mm
Y	-0.1649 mm	0.6175 mm
Z	-0.04473 mm	0.02774 mm
Reaction Force		
Total	0 N	866.2 N
X	-572.3 N	812.2 N
Y	-708.4 N	501.6 N
Z	-124.9 N	120.6 N
Strain		
Equivalent	1.062E-07	0.00826
1st Principal	9.014E-08	0.008749
3rd Principal	-0.006626	-4.657E-08
Normal XX	-0.003227	0.007115
Normal YY	-0.005121	0.003445
Normal ZZ	-0.001644	0.001425
Shear XY	-0.006864	0.005471
Shear YZ	-0.002103	0.002379
Shear ZX	-0.002213	0.002186

Şekil 4.61. “Yüklenme Durumu-II” statik analiz sonuçları

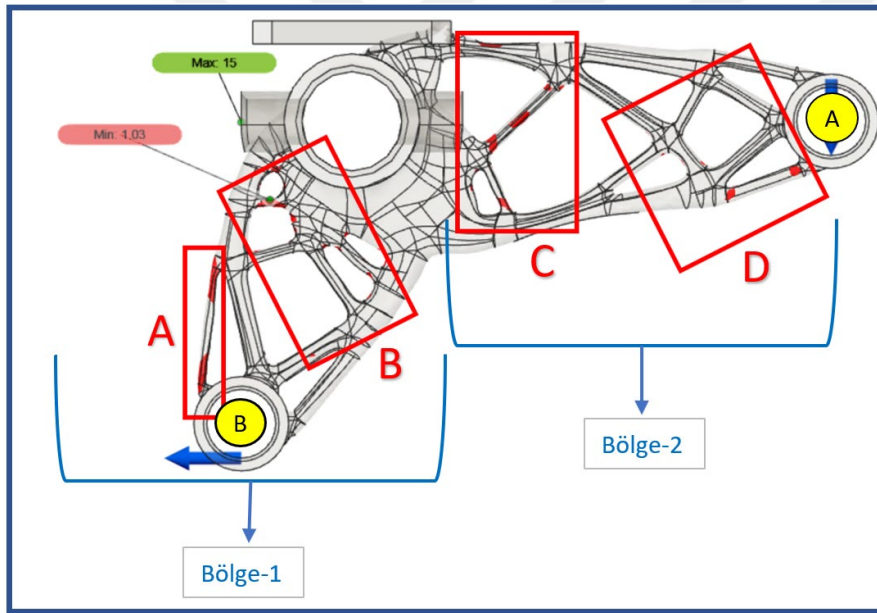


Şekil 4.62. Analiz değerleri sırasıyla: emniyet katsayısı, von Mises gerilmesi, toplam yer değiştirme

Sonuçlar incelendiğinde, minimum emniyet katsayısının 1.03' lere kadar düştüğü bölgeler saptanmıştır. Ayrıca von Mises gerilmesinin 1262 MPa değerlerine çıktığı yüksek stresse



Şekil 4.64. Riskli bölgeler ve emniyet katsayısı değerleri



Şekil 4.65. Riskli bölgelerin değerlendirilmesi

Riskli bölgeler tespit edildikten sonra aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır (Şekil 4.65):

Bölge-1:

A: “B” deliği bölgesi yüklenme bölgesi→ “B” deliği bölgesine bağlanan “A” dirsek bölgesi

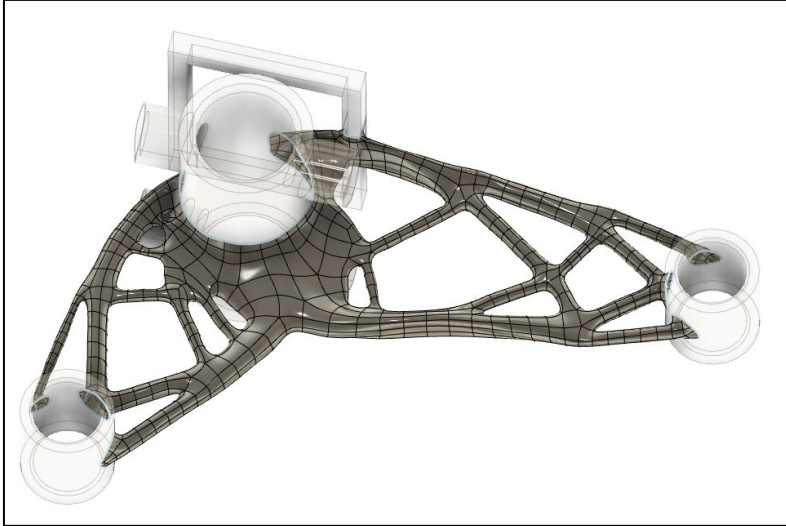
B: Küçük çaplı kütle boşaltma bölgeleri ve keskin kenarlı köprü bağlantıları

Bölge-2:

C: Kütle azaltılan bölgelerdeki zayıf köprü bağlantıları

D: “A” deliği bölgesi yüklenme bölgesi→ “A” deliği bölgesine bağlı köprüler

Riskli bölgelerin tespiti sonrasında model geometrisi üzerinde inceleme ve iyileştirmeler yapılmak üzere “Design (tasarım)” alanına geçilmiştir. Üretken tasarım iterasyonunda korunan bölgeler dışında kalan alanlar; parçanın sınır koşulları, maruz kaldığı yükler ve iterasyon öncesi belirlenen hedefler çerçevesinde T-spline modelleme metodu ile organik geometri olarak modellenmektedir. Aday üretken tasarım modelinin T-spline yapısı Şekil 4.66’ da paylaşılmıştır:



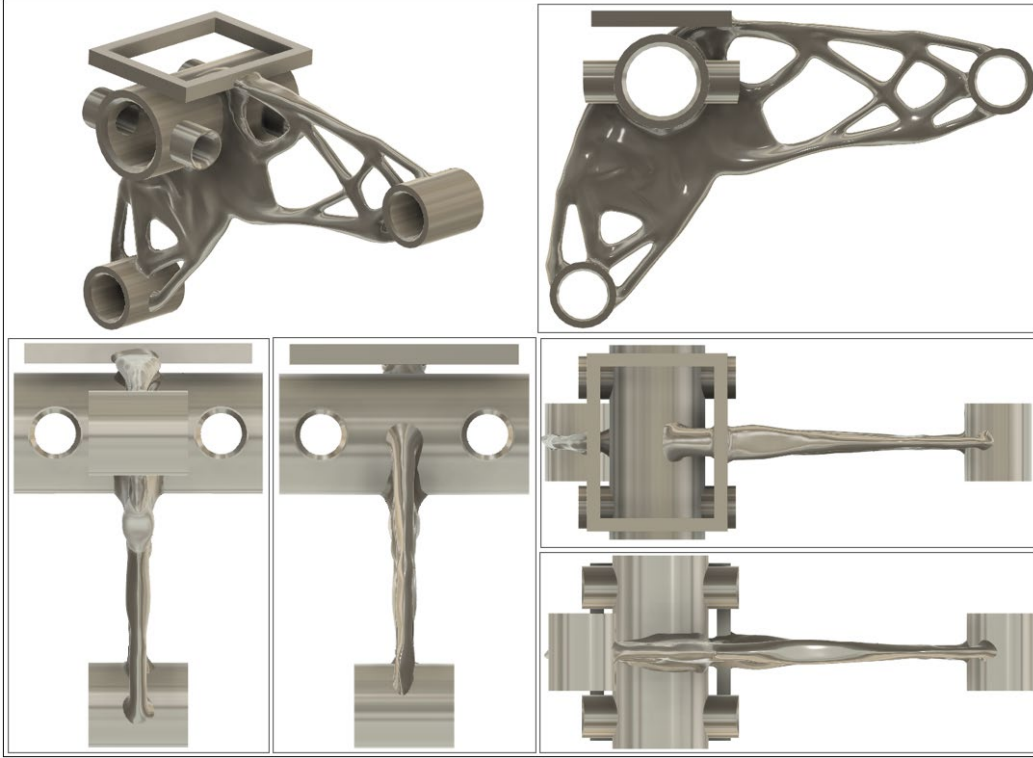
Şekil 4.66. Aday tasarım çıktısının T-spline yapısı

Emniyet katsayısının hedef değerinde altında olduğu bölgeler; minimum emniyet katsayısına sahip node bölgelerinden başlanmak suretiyle, duvar kalınlıkları artırılarak ve eklemeli imalat noktasında problem oluşturabilecek çap bölgeleri (1-2 mm altındaki çaplar) ve zayıf köprü bağlantıları kaldırılarak iyileştirilmiş ve tasarım değişiklikleri gerçekleştirilmiştir. Revize edilen parça modelinin organik kısımlarındaki yapısal değişiklikler ve oluşturulan yeni T-spline dağılımı Şekil 4.67’ deki gibidir:



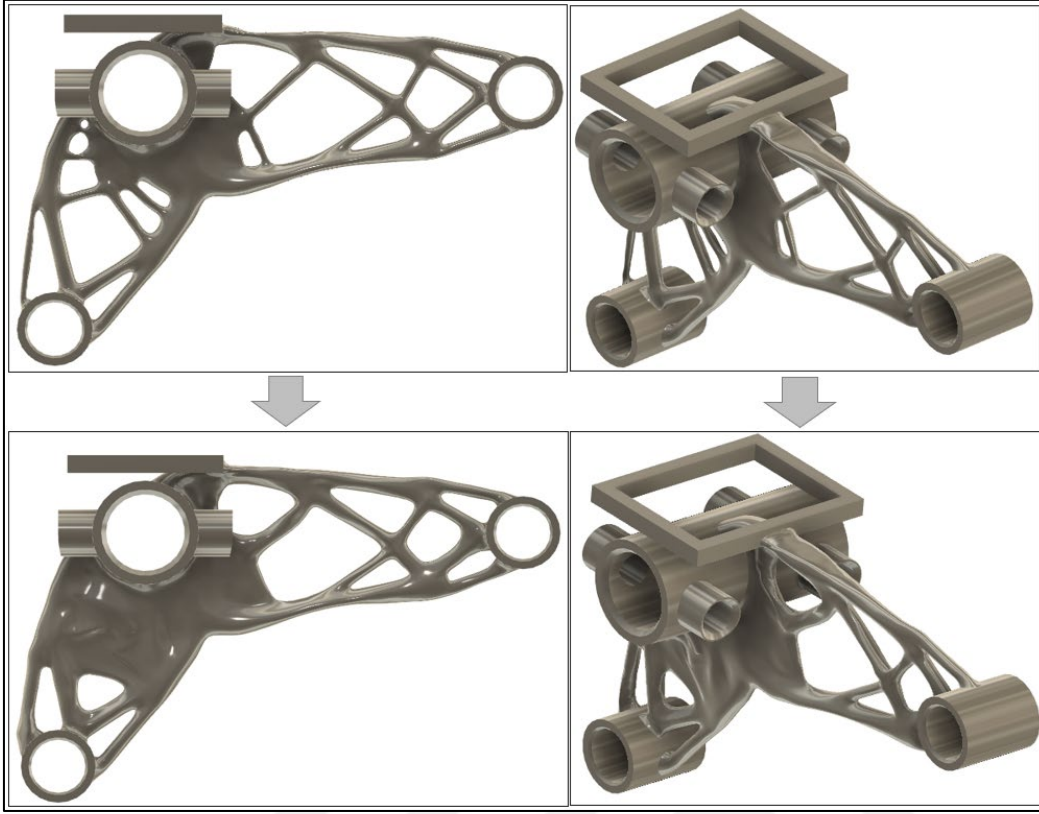
Şekil 4.67. Nihai tasarım çıktısının T-spline yapısı

Aday modelde stres artışının fazla olmasından kaynaklı hedef emniyet katsayısının yeterli seviyede olmadığı her bir node ve bölge için organik geometri üzerinde T-spline ağ örgüsü düzenlenmiş ve her düzenleme sonrasında tekrar statik analize tabi tutularak gerçekleştirilen tasarım değişikliklerinin komşu geometriler ve total model geometrisi üzerindeki stres etkileri ve güncel emniyet katsayısı dağılımı incelenmiştir. Tasarımda gerçekleştirilen her bir değişiklik iyileştirme yapılacak bölgeye lokal bir fayda sağlarken; parça geometrisinin başka bölgelerinde istenmeyen stres dağılımı ve emniyet katsayısı değerlerine sebep olmuştur. Bu sebeple üretken tasarım iterasyonları sonrasında elde edilen aday parça modelinin hedeflenen şartları sağlayabilmesi noktasındaki tasarım süreci “tasarım değişikliği-statik analiz-analiz değerlerinin incelenmesi-tasarım değişikliği” şeklinde bir tasarım süreci döngüsünde gerçekleştirilmiştir. Parça model geometrisinin tasarım hedeflerine göre revize edilmiş hali Şekil 4.68’deki gibidir:



Şekil 4.68. Nihai parça modeli

Aday üretken tasarım modeli ve parça modelinin tasarım hedefleri ve gereksinimlerine göre revize edilmiş son geometrisi Şekil 4.69' da paylaşılmıştır.



Şekil 4.69. Parça geometrisindeki değişim

4.5.6. Nihai modelin statik analiz sonuçları

Tasarım değişikliği sonrası statik analiz sonuçlarının karşılaştırılması şeklinde sürekli kontrollü şekilde devam eden tasarım değişikliği sonucunda 77,957 g kütleli ve “Yüklenme Durumu-I” için 2,559 , “Yüklenme Durumu-II” için 2,552 emniyet katsayısı değerleri ile minimum 2,5 emniyet katsayısında kütle minimizasyonu hedefini sağlayan parça model geometrisinin fiziksel özellikleri ve statik analiz sonuçlarının detayları incelenmiştir.

Nihai tasarımın fiziksel özellikleri Şekil 4.70’ deki gibidir.

Area	11206.389 mm ²
Density	0.008 g / mm ³
Mass	77.957 g
Volume	9994.538 mm ³
Physical Material	EOS Stainless Steel PH1

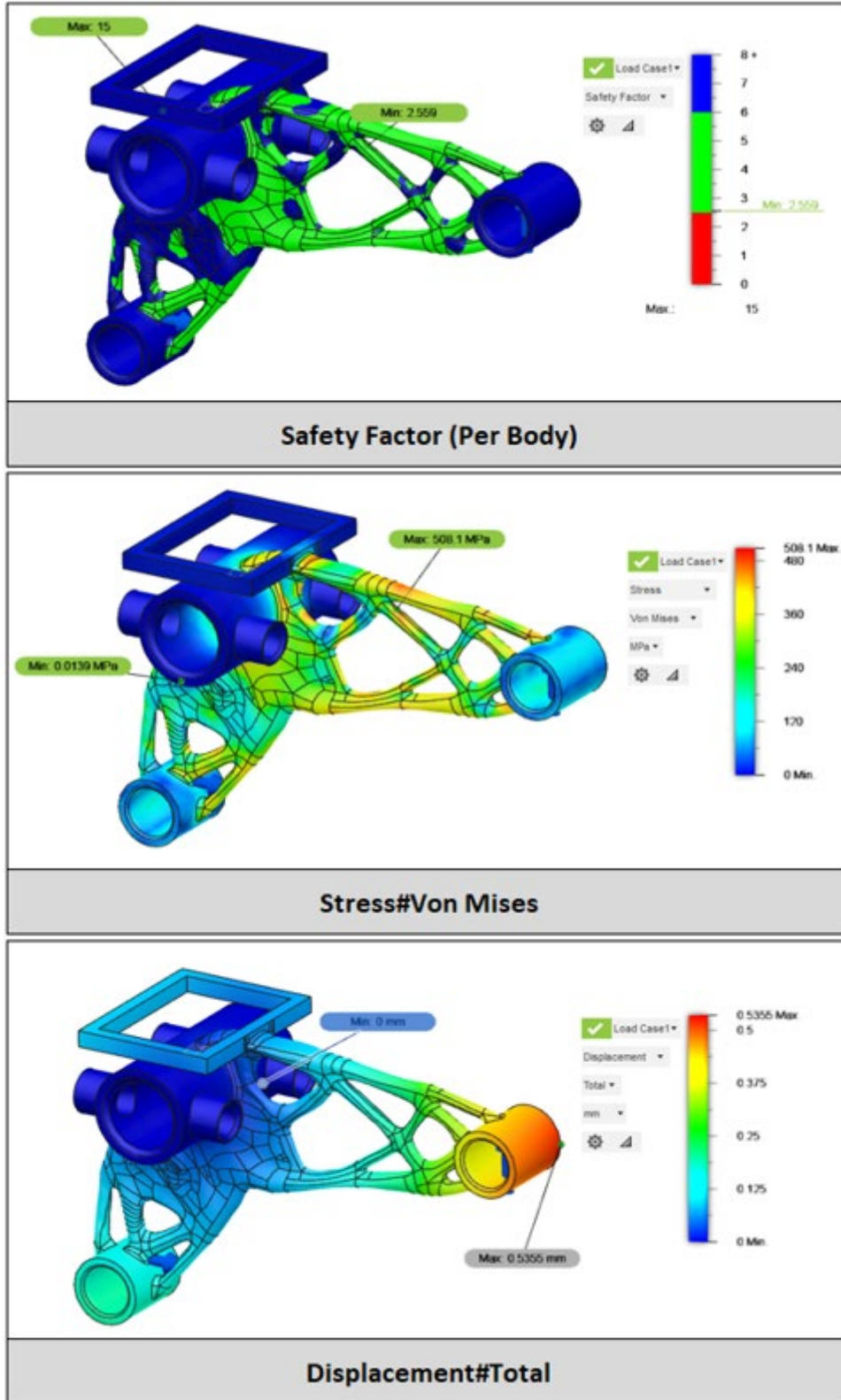
Şekil 4.70. Nihai tasarımın fiziksel özellikleri

Yüklenme Durumu-I için detaylı statik analiz sonuçları Şekil 4.71 ve Şekil 4.72’ de aktarılmıştır.

Yüklenme durumu-I:

Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	2.559	15
Stress		
Von Mises	0.0139 MPa	508.1 MPa
1st Principal	-66.97 MPa	505.3 MPa
3rd Principal	-540.3 MPa	63.2 MPa
Normal XX	-514.4 MPa	466.5 MPa
Normal YY	-484.2 MPa	471.1 MPa
Normal ZZ	-154.5 MPa	161.1 MPa
Shear XY	-250.3 MPa	237.2 MPa
Shear YZ	-134.9 MPa	130.5 MPa
Shear ZX	-160 MPa	154.4 MPa
Displacement		
Total	0 mm	0.5355 mm
X	-0.08207 mm	0.2071 mm
Y	-0.5338 mm	0.09871 mm
Z	-0.0182 mm	0.04986 mm
Reaction Force		
Total	0 N	1147 N
X	-891.1 N	642.7 N
Y	-633.4 N	1108 N
Z	-136.6 N	143.6 N
Strain		
Equivalent	9.449E-08	0.004343
1st Principal	5.221E-08	0.004555
3rd Principal	-0.004619	-8.111E-08
Normal XX	-0.002704	0.002556
Normal YY	-0.002405	0.002512
Normal ZZ	-7.461E-04	7.853E-04
Shear XY	-0.00356	0.003373
Shear YZ	-0.001918	0.001856
Shear ZX	-0.002275	0.002196

Şekil 4.71. “Yüklenme Durumu-I” statik analiz sonuçları



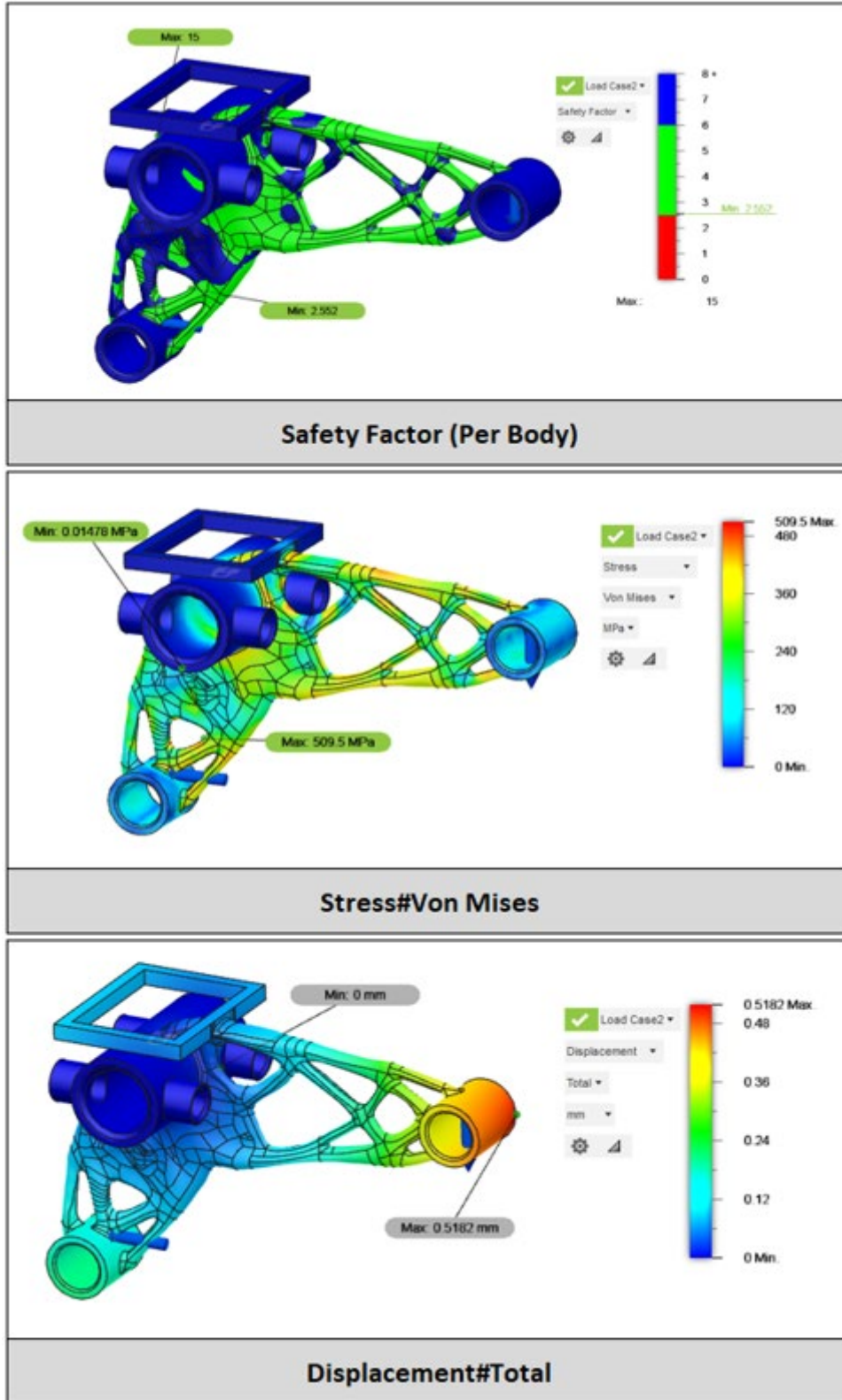
Şekil 4.72. Analiz değerleri sırasıyla: emniyet katsayısı, von Mises gerilmesi, toplam yer değiştirme

Yüklenme Durumu-II için detaylı statik analiz sonuçları Şekil 4.73 ve Şekil 4.74’ te verilmiştir.

Yüklenme durumu-II:

Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	2.552	15
Stress		
Von Mises	0.01478 MPa	509.5 MPa
1st Principal	-60.87 MPa	521.8 MPa
3rd Principal	-534.9 MPa	64.02 MPa
Normal XX	-434.2 MPa	496.4 MPa
Normal YY	-449.4 MPa	462.9 MPa
Normal ZZ	-158.8 MPa	168.4 MPa
Shear XY	-257.9 MPa	244.4 MPa
Shear YZ	-135.7 MPa	136.6 MPa
Shear ZX	-148.4 MPa	153.7 MPa
Displacement		
Total	0 mm	0.5182 mm
X	-0.2208 mm	0.07856 mm
Y	-0.1057 mm	0.5166 mm
Z	-0.0479 mm	0.02027 mm
Reaction Force		
Total	0 N	1152 N
X	-621.8 N	905.2 N
Y	-1112 N	666.7 N
Z	-138.7 N	132.1 N
Strain		
Equivalent	1.032E-07	0.004435
1st Principal	8.496E-08	0.004681
3rd Principal	-0.004562	-6.067E-08
Normal XX	-0.002389	0.00261
Normal YY	-0.002396	0.0023
Normal ZZ	-7.547E-04	7.119E-04
Shear XY	-0.003667	0.003475
Shear YZ	-0.001931	0.001942
Shear ZX	-0.00211	0.002186

Şekil 4.73. “Yüklenme Durumu-II” statik analiz sonuçları



Şekil 4.74. Analiz değerleri sırasıyla: emniyet katsayısı, von Mises gerilmesi, toplam yer değiştirme

4.5.7. Tasarım çıktılarının karşılaştırılması ve sonuçlar

Çan krank (bellcrank) parçası için eklemeli imalat prosesleri ile üretilecek 2,5 minimum emniyet katsayısı koşulunu sağlayan, “kütle minimizasyonu” hedefiyle tasarım modernizasyonu gerçekleştirilmiştir. Üretken tasarım iterasyonu ile başlayan tasarım modernizasyonu süreci; iterasyonlar sonucu seçilen aday tasarım çıktısının, hedef çalışma koşulları ve fiziksel şartları sağlayacak geometriye dönüştürülmesini içeren analiz ve tasarım uygulamaları şeklinde ilerlemiştir. Tasarım modernizasyonu sürecinin kilometre taşlarını oluşturan parça modellerinin fiziksel özellik-performans çıktıları ve çıktılar ile ilgili değerlendirmeler aşağıdaki gibidir:

Gerçekleştirilen tasarım modernizasyonunda; öncül amaç fonksiyonu “kütle minimizasyonu” ve amaç fonksiyonu için belirlenen limit “minimum emniyet katsayısı=2,5” olarak belirlenmiştir (Şekil 4.75).



Şekil 4.75. Amaç fonksiyonu ve limit

Çan krank (bellcrank) parçasının ilk modeli için gerçekleştirilen statik analiz çalışması sonucunda minimum emniyet katsayısı 3,045 olarak hesaplanmıştır. Parçanın çalışma koşulları, hedef fonksiyonu ve limitleri çerçevesinde gerçekleştirilen üretken tasarım iterasyonu sonrasında elde edilen aday parça modelinin minimum emniyet katsayısı 1,03 olarak hesaplanmıştır. Ulaşılan minimum emniyet katsayısı değeri hedeflenen tasarım limitlerinden uzak olduğu gibi emniyetli bir parça da vadetmemektedir. Hedeflenen minimum emniyet katsayısının 2,5 olması sebebiyle üretken tasarım iterasyonu sonucu ortaya koyulan parça modelinde iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Tasarım hedefleri doğrultusunda iyileştirilen nihai parça modelinin minimum emniyet katsayısı 2,552 değeri ile minimum emniyet katsayısı isterini sağlayacak seviyeye çekilmiştir.

Üretken tasarım iterasyonu gerçekleştirilmeden önce elde edilecek parça modelleri için konulan minimum 2,5 emniyet katsayısına rağmen parça üzerindeki bazı bölgelerde bu değer altındaki emniyet katsayısı değerlerinin gözlenmesinin sebebi; iteratif bir süreç olan üretken tasarım uygulamasının devam edebilmesi için belirlenen hedefler ve sınır koşullarının gerekli durumlarda esnetilebilmesidir. Korunmuş geometri bölgeleri dışında kalan detaylar T-spline modelleme metodu ile organik geometri olarak modellenir. Hedef fonksiyonu ve limitler kapsamında gerçekleştirilen tasarım iterasyonda, organik modelleme iterasyonunun devam edebilmesi için, limit şartların sağlanamadığı lokal bölgeler ve noktasal kısımların çıktılarını ihmal edilerek iterasyon devam ettirilir ve tasarım çıktıları oluşturulur. Bu kapsamda üretken tasarım iterasyonu sonucu elde edilen parça modeli, analiz modüllerinde, üretken tasarım modülünden ayrı olarak aynı malzeme, sınır koşulları ve yüklenme durumuna göre tekrar analize tabi tutulmalı ve sonuçların emniyet durumu ve diğer hedef koşulları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir. Parçanın üç farklı tasarımı için hesaplanan minimum emniyet katsayısı değerleri Çizelge 4.7' deki gibidir:

Çizelge 4.7. Parça modellerinin minimum emniyet katsayıları

Model:	Emniyet Katsayısı:
İlk Parça Modeli	3,045
Üretken Tasarım İterasyonu Parça Modeli	1,03
Nihai Parça Model	2,552

Gerçekleştirilen tasarım modernizasyonu sonrasındaki parça kütleindeki değişim Çizelge 4.8'de aktarılmıştır:

Çizelge 4.8. Parça modellerinin kütleleri ve tasarım değişimlerinin sağladığı kütle kazançları

Model:	Kütle(g):	Hafifleme Miktarı(g):	Hafifleme (%):
İlk Parça Modeli	331,799		
Üretken Tasarım İterasyonu Parça Modeli	71,066	260,733	78,6
Nihai Parça Model	77,957	253,842	76,5

İlk parça modelinin kütlesi 331,799 gram olarak ölçülmüştür. Üretken tasarım iterasyonu sonucunda elde edilen modelin analiz ortamında hesaplanan kütlesi 71,066 gram olarak ölçülmüştür, bu kütle değişiminin bir başka ifadesi %78,6'lık hafiflemedir. Kütle minimizasyonu hedefiyle gerçekleştirilen bir tasarım modernizasyonu için %78,6 değeri

oldukça tatmin edici olsa da emniyet limitlerinin dışında kaldığı için bir tasarım iyileştirmesi sürecine ihtiyaç duymuştur. Gerçekleştirilen tasarım iyileştirmesi sonucunda elde edilen parça modelinin kütlesi 77,957 gram olarak ölçülmüştür. Elde edilen nihai tasarım çıktısı 253,842 gramlık bir kütle kazancı sağlayarak %76,5 oranında bir hafifleme sağlanmıştır. Tek bir parça için elde edilen kütle kazancı; kullanılacak her 4 çan krank (bellcrank) parçası için montaj kompleksinde 1 kg'lık bir hafifleme sağlayacaktır.

Parçanın değişen tasarımları için maksimum von Mises gerilmesi ve maksimum yer değiştirme değerleri Çizelge 4.9' daki gibidir:

Çizelge 4.9. Parça modellerinin von Mises gerilmesi ve yer değiştirme miktarı değerleri

Model:	Maksimum Von Mises Gerilimi (MPa)	
	Yüklenme Durumu-I	Yüklenme Durumu-II
İlk Parça Modeli	352,2	279,3
Üretken Tasarım İterasyonu Parça Modeli	1158	1262
Nihai Parça Model	508,1	509,5
Model:	Maksimum Yer Değiştirme (mm)	
	Yüklenme Durumu-I	Yüklenme Durumu-II
İlk Parça Modeli	0,09413	0,09147
Üretken Tasarım İterasyonu Parça Modeli	0,6387	0,6177
Nihai Parça Model	0,5355	0,5182

Üretken tasarım iterasyonu sonucunda özellikle ince cidarlı kısımlar ve dar deliklerde dramatik şekilde artan von Mises gerilmesi nihai model tasarımında kabul edilebilir seviyelere çekilmiştir. Azaltılan gerilmeler ile birlikte maksimum yer değiştirme (max. displacement) değerinde de azalma gözlenmiştir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; eklemeli imalat teknolojilerinin uygun kullanımı ve eklemeli imalata yönelik malzeme seçimi, parça geometrisinin modellenmesi gibi tasarım süreçlerinde uygun seçim ve kararların, tasarlanan yazılım yardımıyla sistematik şekilde verilmesi, eklemeli imalata yönelik makine öğrenmesi tabanlı iteratif bir tasarım yaklaşımı olan “üretken tasarım” uygulaması ile geleneksel metotlarla imal edilmekte olan bir parçanın eklemeli imalat yöntemleri ile üretilecek daha verimli bir tasarıma modernize edilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Çalışmanın ilk kısmında eklemeli imalat teknolojisi kullanılarak üretilecek ürünlerin malzeme seçimi ve üretilebilir parça geometrileri için eklemeli imalata yönelik tasarım değişkeni önerileri sunabilecek bir program üzerine yoğunlaşmıştır. Bu kapsamda; malzeme öneri kısmında, eklemeli imalat proseslerinde kullanılan 46 ana malzeme grubundan 401 farklı malzeme için 14 farklı malzeme seçim kriterinde kullanıcıya malzeme önerisi yaparken; tasarım rehberinde 4 ana malzeme grubunda 21 temel malzeme için 7 farklı tasarım parametresinde öneri sunabilen Excel VBA tabanlı bir program hazırlanmıştır. Kullanıcı kriter ekranında bulunan malzeme seçim kriterlerinde, malzeme seçimi gerçekleştireceği parçanın çalışma şartları, mekanik ve metalürjik gereksinimlerine göre seçimler yapmak suretiyle bir aday malzeme listesine ulaşabilmektedir. Aday malzeme listesinde, malzemeler, seçim yapılan kriterleri sağlama derecelerine göre sıralanır. Kullanıcı yine “malzeme seçim rehberi” ekranından aday malzemeler arasından seçtiği malzemelerin “malzeme veri sayfalarına” erişip detaylı malzeme özelliği incelemesini gerçekleştirebilmektedir. Programın “eklemeli imalata yönelik tasarım rehberi” kısmında; eklemeli imalata yönelik tasarım çalışmalarında -üretilebilir tasarımların ortaya koyulabilmesi noktasında- malzemesi belirlenmiş bir tasarımın nihai geometrisi için geometrik sınır koşulları ve tasarım değişkeni önerileri yapılabilmektedir. Tasarımcı eklemeli imalata yönelik gerçekleştirdiği tasarım çalışmasını bu tasarım önerileri kapsamında değerlendirerek daha üretilebilir tasarımlar ortaya koyabilmektedir.

Eklemeli imalat teknolojisinde kullanılan tüm malzeme özellikleri için sayısal değerlerin bulunduğu veri sayfalarının mevcut olmayışı malzeme seçim metodunda nümerik yaklaşımlar için bir dezavantaj oluşturmaktadır. Bu kısıtlar hazırlanan Eklemeli İmalat Rehberi-Additive Manufacturing Guide (AM Guide) programının veri tabanı oluşturma ve

malzeme seçimi safhasında program kurgusu yaklaşımını derinden etkilemiştir. Eklemeli imalat proseslerinde kullanılan malzeme teknolojilerindeki araştırmaların ilerlemesi ve geliştirilen malzemelerin ticarileşmesiyle birlikte malzeme özelliklerinin sayısal verilerini içeren malzeme veri sayfaları oluşturulabilir. Böylelikle malzeme seçim kriterlerinin seçimine ek nümerik sınır koşullarının belirlenebildiği malzeme seçim portalları hazırlanabilir. Böylece tasarımcı daha daraltılmış bir aday malzeme listesi içerisinden tasarlayacağı parçalar için daha hızlı ve tutarlı malzeme seçim işlemi gerçekleştirebilir.

Çalışmanın ikinci kısmı; eklemeli imalata yönelik tasarım çalışmalarında dikkat çekici bir yöntem olan “üretken tasarım” metodu ile halihazırda frezeleme ile “Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel” malzemesinden üretilmekte olan çan krank (belcrank) parçasının tasarımının çalışma koşulları ve tasarım hedefleri çerçevesinde modernize edilmesini içermektedir. Bu kapsamda ilk olarak parçanın çalışma koşulları ve maruz kaldığı yükler değerlendirilmek suretiyle AM Guide üzerinden malzeme seçimi yapılmış ve EOS Stainless Steel PH1 ve EOS Maraging Steel MS1 iki aday malzeme olarak seçilmiştir. Malzeme seçimi, sonrasında üretken tasarım çalışmasına başlanmıştır. Bu kapsamda ilk olarak geleneksel tasarım yaklaşımı ile tasarlanan parça modeli üzerinde korunmuş ve engel geometriler belirlenmiştir. Sonrasında sırasıyla hedefler ve limitler (hedef: kütle minimizasyonu, limit: minimum emniyet katsayısı:2,5), imalat metotları (frezeleme, sınırlandırılmamış-herhangi imalat metodu sınırı koyulmamış-, eklemeli imalat) seçilmiş, daha sonrasında parçanın yüklenme durumu ve fiziksel sınır şartları belirlenmiştir. Belirlenen hedef ve kriterler çerçevesinde; seçilen iki aday malzeme ve frezeleme metodu ile üretim için daha verimli tasarım iterasyonlarını inceleyebilmek amacıyla Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel malzemesi için üretken tasarım iterasyonu başlatılmıştır. İterasyon sonucunda 18 adet aday tasarıma ulaşılmıştır. Aday tasarımların analiz sonuçları ve performans değerleri karşılaştırılmış ve aday tasarım seçilmiştir. Seçilen aday tasarımın malzemesi EOS Stainless Steel PH1 malzemedir. Üretken tasarım iterasyonunda, belirlenen hedef ve limitler çerçevesinde iterasyon gerçekleştirilmekte ve yalnızca hedefleri ve limitleri sağlayan üretken tasarım çıktıları sonuçlarda listelenmektedir. Fakat atlanmaması gereken önemli bir detay; yapay zeka tabanlı iteratif bir tasarım yaklaşımı olan üretken tasarım; iterasyonun devamı ve anlamlı geometrilerin oluşturulması amacıyla bazı lokal bölgelerde iterasyon öncesi belirlenen limitlerin dışında geometriler oluşturabilir. Bu sebeple seçilen aday üretken tasarım modeli; belirlenen yüklenme durumu ve sınır koşullarına göre detaylı yapısal analiz işlemine tabi tutulmalıdır. Seçili aday tasarım; tekrar analize tabi tutulmuş ve

parça 1,03 minimum emniyet katsayısı ile hedeflenen minimum emniyet katsayısının altında kalmıştır. Bu duruma ek olarak tasarım iterasyonu sonrasında geometride oluşan üretilebilir olmayan detaylar ve model geometrisini bozan malzeme yığılmaları da gözlemlenmiştir. Bu kapsamda üretken tasarım iterasyonları arasından seçilen parça tasarımının, belirlenen hedefleri ve emniyet katsayısı limitlerini sağlayabilmesi, düzensiz malzeme yığılmalarının giderilebilmesi için tasarım iyileştirmesi çalışması başlatılmış, iyileştirme sürecinde tasarım ve analiz çalışmalarına, parça belirlenen hedefleri ve gereksinimleri sağlayana kadar iteratif olarak devam edilmiş, nihai tasarıma ulaşılmıştır.

Sonuçlar toplu olarak incelendiğinde;

Quenched and Tempered 4140 Cr-Mo Steel malzemesinden frezeleme ile üretilen parçanın kütlesi 331,799 g olarak hesaplanmıştır, gerçekleştirilen analiz sonucunda emniyet katsayısının 3,045 olduğu saptanmıştır. Üretken tasarım iterasyonu sonrasında 18 aday ham tasarım arasından seçilen parça modelinin kütlesinin 71,066 g olduğu gözlenmiştir. Parça 260,733 g hafiflese de gerçekleştirilen analiz sonrasında parçanın lokal bölgelerinde saptanan 1,03 emniyet katsayısı hedef emniyet limitlerinin altında kalmıştır. Tasarım hedeflerinin ve limitlerinin sağlanması, üretilebilir bir geometrinin ortaya konulması amacıyla parça tasarımı ek bir iyileştirmeye tabi tutulmuş ve EOS Stainless Steel PH1 malzemeli nihai parça modelinin kütlesi 77,957 g olarak hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonrasında minimum emniyet katsayısının 2,552 olduğu ve hedef emniyet limitinin üzerinde olduğu görülmüştür. Bu kapsamda nihai model, geleneksel metotla tasarlanıp üretilen parçaya göre 253,842 g hafifletilmiştir. Bu hafifleme %76,5 oranında bir hafiflemeye tekabül etmektedir.

Çalışmanın nümerik sonuçlarına ek olarak; eklemeli imalatın olgunluk seviyesine erişme noktasında gelişmekte olan bir teknoloji olması sebebiyle, gerek tasarım gerekse imalat prosesleri sürecinde belli noktalarda tasarımcı/imalatçı inisiyatifinin oldukça önemli olduğu gözlenmiştir. Bu kapsamda eklemeli imalat teknolojisinin sunduğu olanaklardan ve halen keşfedilmekte olan üstün imalat kabiliyetinden en iyi şekilde yararlanabilmenin yolu teknolojinin kullanılmasındaki tecrübelerden ve deneysel olarak ispatlanmış nümerik sonuçları tespit edebilmekten geçmektedir. Tasarım ve imalat periyotlarını içeren pek çok safhada makine öğrenmesi tabanlı iteratif süreçlerin kullanılması, en verimli nihai sonuca erişilme noktasında daha fazla varyasyonda sonucun artılarının ve eksilerinin kıyaslanıp

teknoloji kapsamındaki tecrübe eksikliğinden kaynaklı dezavantajın önüne geçilebilmesini sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında eklemeli imalatın tasarım safhasında oldukça verimli bir iteratif tasarım yaklaşımı olan üretken tasarım metodu kullanılmış, nihai parça modeline erişim için tek bir başlangıç modeli yerine; hedef ve sınır koşullarını sağlayan pek çok ham tasarım arasından seçilen verimli bir başlangıç modeli kullanılmıştır. Sonraki çalışmalarda daha fazla malzeme opsiyonu ile farklı özelliklere sahip malzemeler için üretken tasarım iterasyonları gerçekleştirilerek elde edilen üretken tasarım modellerinin performansları kıyaslanabilir, elde edilen nihai parça numunelerinin üretimi gerçekleştirilerek çalıştığı montaj kompleksindeki performansları test edilebilir. Buna ek olarak inceleme alanı parça odağından alt montaj odağına genişletilmek suretiyle gerçekleştirilecek kütle minimizasyonu ve parça konsolidasyonu amaçlı üretken tasarım iterasyonları ile bypass edilebilecek komponent ve bağlantı elemanları, montaj prosesi süreleri değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Dedeakayoğulları, H., ve Kaçal, A. (2020). Eklemeli imalat teknolojileri ve kullanılan talaşlı imalat yöntemleri üzerine yapılan çalışmaların değerlendirilmesi. *İmalat Teknolojileri ve Uygulamaları*, 1(1), 1-12.
2. Özer, G. (2020). Eklemeli üretim teknolojileri üzerine bir derleme. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 606-621.
3. Yalçın, B., ve Ergene, B. (2017). Endüstride yeni eğilim olan 3-d eklemeli imalat yöntemi ve metalurjisi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 9(3), 65-88.
4. Tofail, S. A., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., and Charitidis, C. (2018). Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Materials Today*, 21(1), 22-37.
5. de Pastre, M. A., Quinsat, Y., and Lartigue, C. (2022). Effects of additive manufacturing processes on part defects and properties: a classification review. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 16(4), 1471-1496.
6. Doubrovski, Z., Verlinden, J. C., and Geraedts, J. M. (2011, January). *Optimal design for additive manufacturing: opportunities and challenges*. In International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference (Vol. 54860), Washington, 635-646.
7. Thompson, M. K., Moroni, G., Vaneker, T., Fadel, G., Campbell, R. I., Gibson, I., Bernard, A., Schulz, J., Graf, P., Ahuja, B., and Martina, F. (2016). Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints. *Cirp Annals*, 65(2), 737-760.
8. Smith, P., and Rennie, A. (2010). Computer aided material selection for additive manufacturing materials. *Virtual and Physical Prototyping*, 5(4), 209-213.
9. Smith, P. C., and Rennie, A. E. W. (2010, July). *Using additive manufacturing effectively: A CAD tool to support decision making*. In Proceedings of the 36th International MATADOR Conference, London, 381-384.
10. Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., and Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196.
11. Alghamdy, M., Ahmad, R., and Alsayyed, B. (2019). Material selection methodology for additive manufacturing applications. *Procedia Cirp*, 84, 486-490.
12. Armillotta, A. (2008). Selection of layered manufacturing techniques by an adaptive AHP decision model. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24(3), 450-461.

13. Uz Zaman, U. K., Rivette, M., Siadat, A., and Mousavi, S. M. (2018). Integrated product-process design: Material and manufacturing process selection for additive manufacturing using multi-criteria decision making. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 51, 169-180.
14. Junk, S., and Burkart, L. (2021). Comparison of CAD systems for generative design for use with additive manufacturing. *Procedia Cirp*, 100, 577-582.
15. İnternet: Markets and Markets, (2019). *Generative design market by application (product design & development and cost optimization), component, deployment model, industry vertical (automotive, aerospace & defense, industrial manufacturing), and region - Global forecast to 2023*. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/generative-design-market-257517868.html>, Son Erişim Tarihi: 28.08.2022.
16. Bright, J., Suryaprakash, R., Akash, S., and Giridharan, A. (2021, 2-3 October). *Optimization of quadcopter frame using generative design and comparison with DJI F450 drone frame*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1012, No. 1), Chennai, 012019.
17. İnternet: Aman, B. (2020). *Generative Design for Performance Enhancement, Weight Reduction, and its Industrial Implications*. URL: <https://arxiv.org/abs/2007.14138>, Son Erişim Tarihi: 28.08.2022.
18. Vlah, D., Žavbi, R., and Vukašinović, N. (2020, May). *Evaluation of topology optimization and generative design tools as support for conceptual design*. In Proceedings of the Design Society: Design Conference, (Vol. 1), Cavtat, 451-460.
19. İnternet: Prospector. *EOS StainlessSteel PHI Datasheet*. URL: <https://metals.ulprospector.com/datasheet/e252342/eos-stainlessteel-ph1>, Son Erişim Tarihi: 14.02.2021.
20. İnternet: Prospector. *EOS MaragingSteel MSI Datasheet*, URL: <https://metals.ulprospector.com/datasheet/e252337/eos-maragingsteel-ms1>, Son Erişim Tarihi: 14.02.2021.



EKLER

EK-1. AM Guide veri tabanı malzemeleri

#:	MAIN MATERIAL_GROUP:	MATERIAL DESCRIPTION:
1	ABS	3DXMAX© ABS 3D Filament
2	ABS	3DXMAX© ESD-Safe ABS 3D Filament
3	ABS	ABScentt Transparent & Odorless ABS 3D Filament
4	ABS	ABSplust P430
5	ABS	Argyle ABS (P400)
6	ABS	Argyle ABS B31 (M-TYPE)
7	ABS	Argyle ABSmax (P430)
8	ABS	CarbonXt Carbon Fiber Reinforced ABS 3D Filament
9	ABS	Push Plastic Carbon Fiber ABS
10	ABS	Push Plastic Premium ABS
11	ABS	Stratasys ABS-ESD7
12	ABS	Stratasys ABSi
13	ABS	Stratasys ABS-M30
14	ABS	Stratasys ABS-M30i
15	ABS	Ultrafuse ABS Fusion+
16	ABS	Ultrafuse ABS
17	Acrylic, Unspecified	EnvsonTEC D3 White M
18	Acrylic, Unspecified	Perfactory© ABflex
19	Acrylic, Unspecified	Perfactory© ABS-tuff
20	Acrylic, Unspecified	Perfactory© E-Dent
21	Acrylic, Unspecified	Perfactory© E-Partial
22	Acrylic, Unspecified	Perfactory© E-Shell 300
23	Acrylic, Unspecified	Perfactory© HTM140
24	Acrylic, Unspecified	Perfactory© HTM140IV
25	Acrylic, Unspecified	Perfactory© LS600
26	Acrylic, Unspecified	Perfactory© Photosilver
27	Acrylic, Unspecified	Perfactory© Press-E-Cast
28	Acrylic, Unspecified	Perfactory© R5 Gray
29	Acrylic, Unspecified	Perfactory© R5
30	Acrylic, Unspecified	Perfactory© R11
31	Acrylic, Unspecified	Perfactory© RC31
32	Acrylic, Unspecified	Perfactory© WIC100G
33	Acrylic, Unspecified	Voxeljet PMMA Polypor C
34	Aluminum	EOS Aluminum AlSi10Mg
35	Aluminum	LPW 6061
36	Aluminum	LPW 7050
37	Aluminum	LPW 7075
38	Aluminum	LPW AlSi10Mg
39	Aluminum	LPW AlSi12
40	Aluminum	SLM AlSi7Mg

EK-1. (devam) AM Guide veri tabanı malzemeleri

#:	MAIN MATERIAL GROUP:	MATERIAL DESCRIPTION:
41	Aluminum	SLM AlSi10Mg
42	Aluminum	SLM AlSi12
43	ASA	3DXMAX© ASA 3D Filament
44	ASA	Ultrafuse ASA
45	Biodeg Polymers	bofla© linen
46	Biodeg Polymers	bofla© silk
47	BVOH	Ultrafuse BVOH
48	Cobalt	Arcam ASTM F75 CoCr Alloy
49	Cobalt	EOS CobaltChrome MP1
50	Cobalt	EOS CobaltChrome SP2
51	Cobalt	LPW 509
52	Cobalt	LPW 64
53	Cobalt	LPW 800
54	Cobalt	LPW Co6
55	Cobalt	LPW CoCr-2LC
56	Cobalt	SLM CoCr ASTM F75
57	Composite	Ultrafuse 316LX
58	Cyanate Ester Resin	CarbonResin CE 220
59	Epoxy	Accura© 48HTR
60	Epoxy	Accura© Amethystt
61	Epoxy	Accura© ClearVuet Free (SL 7870)
62	Epoxy	Accura© e-Stonet
63	Epoxy	Accura© Peakt
64	Epoxy	CarbonResin EPX 81
65	Epoxy	CMET HS-680
66	Epoxy	CMET HS-690
67	Epoxy	CMET HS-696
68	Epoxy	CMET TSR-821
69	Epoxy	CMET TSR-829
70	Epoxy	CMET TSR-831
71	Epoxy	CMET TSR-832
72	Epoxy	CMET TSR-839
73	Epoxy	CMET TSR-880
74	Epoxy	CMET TSR-883
75	Epoxy	CMET TSR-884B
76	Epoxy	CMET TSR-890
77	Epoxy	D-MEC SCR11120
78	Epoxy	D-MEC SCR701
79	Epoxy	D-MEC SCR710
80	Epoxy	D-MEC SCR735

EK-1. (devam) AM Guide veri tabanı malzemeleri

#:	MAIN MATERIAL_GROUP:	MATERIAL DESCRIPTION:
81	Epoxy	D-MEC SCR740
82	Epoxy	D-MEC SCR751
83	Epoxy	D-MEC SCR802
84	Epoxy	D-MEC SCR9100
85	Epoxy	D-MEC SCR9120
86	Epoxy	VsJet© SL Black
87	Epoxy	VsJet© SL Clear
88	Epoxy	VsJet© SL e-Stone
89	Epoxy	VsJet© SL Flex
90	Epoxy	VsJet© SL HTemp
91	Epoxy	VsJet© SL Impact
92	Epoxy	VsJet© SL Jewel
93	Epoxy	VsJet© SL Tough
94	Iron	ExOne Iron-Bronze
95	Nickel	EOS NickelAlloy HX
96	Nickel	EOS NickelAlloy IN625
97	Nickel	EOS NickelAlloy IN718
98	Nickel	LPW 247LC
99	Nickel	LPW 263
100	Nickel	LPW 276
101	Nickel	LPW 625
102	Nickel	LPW 718
103	Nickel	LPW 77
104	Nickel	LPW H230
105	Nickel	LPW WASP
106	Nickel	LPW X-2LC
107	Nickel	SLM Inconel 625
108	Nickel	SLM Inconel 718
109	Nickel	SLM Inconel HX
110	Nylon 11	EOS PA 1101
111	Nylon 11	HP 3D High Reusability PA 11
112	Nylon 11	Ultrasint PA11 black CF
113	Nylon 11	Ultrasint PA11 black
114	Nylon 11	Ultrasint PA11 ESD
115	Nylon 11	Ultrasint PA11 GB30
116	Nylon 11	Ultrasint PA11
117	Nylon 12	Adsint PA12
118	Nylon 12	DuraForm© FR1200
119	Nylon 12	EOS Alumide©
120	Nylon 12	EOS CarbonMide©

EK-1. (devam) AM Guide veri tabanı malzemeleri

#:	MAIN MATERIAL_GROUP:	MATERIAL DESCRIPTION:
121	Nylon 12	EOS PA 2105
122	Nylon 12	EOS PA 2200 Balance 1.0
123	Nylon 12	EOS PA 2200 Performance 1.0
124	Nylon 12	EOS PA 2200 Speed 1.0
125	Nylon 12	EOS PA 2200 Top Quality 1.0
126	Nylon 12	EOS PA 2200 Top Speed 1.0
127	Nylon 12	EOS PA 2201
128	Nylon 12	EOS PA 2202 black
129	Nylon 12	EOS PA 2210 FR
130	Nylon 12	EOS PA 2241 FR
131	Nylon 12	EOS PA 3200 GF
132	Nylon 12	FDM© Nylon 12
133	Nylon 12	HP 3D High Reusability PA 12
134	Nylon 12	HP 3D High Reusability PA 12 Glass Beads
135	Nylon 12	PrimePart© PLUS PA 2221
136	Nylon 12	VESTOSINT© 3D Z2773
137	Nylon 6	AKROMID© B3 ICF 10 AM black (7840)
138	Nylon 6	AKROMID© B3 ICF 30 9 AM black (7451)
139	Nylon 6	SINTERLINE© POWDER PA6 3400 HT 110 NATURAL
140	Nylon 6	SINTERLINE© POWDER PA6 6300 HT 110 NATURAL
141	Nylon 6	Ultrasint PA6 black
142	Nylon 6	Ultrasint PA6 FR black
143	Nylon 6	Ultrasint PA6 GB X055
144	Nylon 6	Ultrasint PA6 LM black
145	Nylon 6	Ultrasint PA6 LM X085 black
146	Nylon 6	Ultrasint PA6 MF black
147	Nylon 6	Ultrasint PA6 X028
148	Nylon 6	Ultrasint PA6 X043 black
149	Nylon 6	Ultrasint PA6
150	Nylon 6	XSTRANDt GF30-PA6
151	Nylon 66	Amilan© CM3006
152	Nylon 66-6	Novamid© ID 1030-CF10
153	Nylon 66-6	Novamid© ID 1030
154	Nylon Copolymer	Amilan© CM4000
155	Nylon Copolymer	iOnt NYLON Copolymer 3D Filament
156	Nylon Copolymer	Novamid© ID 1070
157	Nylon, Unspecified	3DXMAX© Carbon Fiber Reinforced Nylon 3D Filament
158	Nylon, Unspecified	DuraForm© GF
159	Nylon, Unspecified	DuraForm© PA
160	Nylon, Unspecified	Ultrafuse PA CF10

EK-1. (devam) AM Guide veri tabanı malzemeleri

#:	MAIN MATERIAL_GROUP:	MATERIAL DESCRIPTION:
161	Nylon, Unspecified	Ultrafuse PA
162	Nylon, Unspecified	Ultrafuse PAHT CF15
163	Nylon, Unspecified	WINDFORM© FX
164	Nylon, Unspecified	WINDFORM© GF 2.0
165	Nylon, Unspecified	WINDFORM© GT
166	Nylon, Unspecified	WINDFORM© LX 2.0
167	Nylon, Unspecified	WINDFORM© SP
168	Nylon, Unspecified	WINDFORM© XT 2.0
169	PAEK	EOS PEEK HP3
170	PC	3DXMAX© ESD-Safe PC 3D Filament
171	PC	Push Plastic PC (Poly-carbonate)
172	PC	Stratasys PC-ISO
173	PC	Stratasys PC
174	PC	XANTARt LDS 3710
175	PC	XANTARt LDS 3730
176	PC	XANTARt LDS 3760
177	PC+ABS	3DXMAX© PC-ABS 3D Filament
178	PC+ABS	3DXMAX© PC-ASA UV-Resistant 3D Filament
179	PC+ABS	Stratasys PC-ABS
180	PC+ABS	XANTARt LDS 3720
181	PC+ABS	XANTARt LDS 3724
182	PC+PBT	Push Plastic PC-PBT
183	PCTG	Ultrafuse Z PCTG
184	PEEK	KetaSpire© CF10 HC AM Filament
185	PEEK	KetaSpire© CF10 LS1 AM Filament
186	PEEK	KetaSpire© MS NT1 AM Filament
187	PEEK	KetaSpire© NT1 HC AM Filament
188	PEEK	LUVOCOM© 3F PEEK 9581 NT
189	PEI	Stratasys ULTEMt 1010
190	PEI	Stratasys ULTEMt 9085
191	PET	Arnite© ID 3040
192	PET	LUVOCOM© 3F PET CF 9780 BK
193	PET	MadeSolid PET+
194	PET	Ultrafuse PET CF15
195	PET	Ultrafuse PET
196	PET	Ultrafuse rPET
197	PETG	3DXMAX© ESD-Safe PETG 3D Filament
198	PETG	3DXMAX© Glass Fiber Reinforced PETG 3D Filament
199	PETG	3DXMAX© PETG 3D Filament

EK-1. (devam) AM Guide veri tabanı malzemeleri

#:	MAIN_MATERIAL_GROUP:	MATERIAL_DESCRIPTION:
200	PETG	CarbonXt Carbon Fiber Reinforced PETG 3D Filament
201	PETG	MIMESIS DP 300
202	PETG	MIMESIS DP 301
203	PETG	Push Plastic High Heat PETG
204	PETG	Push Plastic PETG
205	PETG	THERMAXt GT High Temperature Bo-PETG 3D Filament
206	PLA	CarbonXt Carbon Fiber Reinforced PLA 3D Filament
207	PLA	ECOMAX© PLA 3D Filament
208	PLA	Ingeot 3D850
209	PLA	Ingeot 3D870
210	PLA	Ingeot 4043D
211	PLA	Push Plastic PLA
212	PLA	Ultrafuse PLA
213	PP Copolymer	LUVOSINT© PP 8824 WT
214	PP, Unspecified	Ultrafuse PP GF30
215	PP, Unspecified	Ultrasint PP nat 01
216	PP, Unspecified	Ultrasint PP
217	PP, Unspecified	XSTRANDt GF30-PP
218	PPA	ForTii© LDS85B
219	PPSU	Radel© MS NT1 AM Filament
220	PPSU	Radel© MS NT1 HC AM Filament
221	PPSU	Stratasys PPSF
222	PS (HIPS)	3DXMAX© HIPS 3D Filament
223	PS (HIPS)	Ultrafuse HiPS
224	PS (Specialty)	CastFormt PS
225	PS (Specialty)	PrimeCast© 101
226	PS (Specialty)	WINDFORM© PS
227	PUR, Unspecified	CarbonResin EPU 40
228	PUR, Unspecified	CarbonResin FPU 230
229	PUR, Unspecified	CarbonResin RPU 60
230	PUR, Unspecified	CarbonResin RPU 61
231	PUR, Unspecified	CarbonResin RPU 70
232	PUR, Unspecified	LUVOSINT© TPU X92A-1 NT
233	PUR, Unspecified	LUVOSINT© TPU X92A-2 WT
234	PVDF	Solef© PVDF AM Filament MSC NT 1
235	Silicone	CMET TSR-510
236	Steel	EOS MaragingSteel MS1
237	Steel	EOS StainlessSteel 316L

EK-1. (devam) AM Guide veri tabanı malzemeleri

#:	MAIN MATERIAL_GROUP:	MATERIAL DESCRIPTION:
238	Steel	EOS StainlessSteel GP1
239	Steel	EOS StainlessSteel PH1
240	Steel	ExOne 316SS-Bronze
241	Steel	ExOne 420SS-Bronze
242	Steel	LPW 155
243	Steel	LPW 174
244	Steel	LPW 1V
245	Steel	LPW 316
246	Steel	LPW 4140
247	Steel	LPW H13
248	Steel	LPW M2
249	Steel	LPW M300
250	Steel	SLM 1.2344 (H13)
251	Steel	SLM 1.2709
252	Steel	SLM 1.4404 (316L)
253	Steel	SLM 1.4540 (15-5PH)
254	Titanium	Arcam Grade 2 Titanium
255	Titanium	Arcam Ti6Al4V ELI Titanium Alloy
256	Titanium	Arcam Ti6Al4V Titanium Alloy
257	Titanium	EOS Titanium Ti64
258	Titanium	EOS Titanium Ti64ELI
259	Titanium	LPW CpTi
260	Titanium	LPW Ti6242
261	Titanium	LPW Ti64 Gd23
262	Titanium	LPW Ti64 Gd5
263	Titanium	LPW Ti64
264	Titanium	SLM Pure Titanium
265	Titanium	SLM Ti6Al4V
266	Titanium	SLM Ti6Al7Nb
267	TP, Unspecified	Diamond Plastics Laser HDPE HX 17
268	TP, Unspecified	Photo-Resin X004
269	TPA-ET	PrimePart© ST PEBA 2301
270	TPC-ET	Arnitel© ID 2060-HT
271	TPE	Arnitel© ID 2045
272	TPE	DuraForm© Flex
273	TPU, Unspecified	Adsint TPU 90 flex
274	TPU, Unspecified	NinjaFlex Filament
275	TPU, Unspecified	Ultrafuse TPU 80A LF
276	TPU, Unspecified	Ultrafuse TPU 85A

EK-1. (devam) AM Guide veri tabanı malzemeleri

#:	MAIN MATERIAL_GROUP:	MATERIAL DESCRIPTION:
277	TPU, Unspecified	Ultrasint TPU01
278	Unspecified	3SP™ E-Denstone Ivory
279	Unspecified	3SP™ E-Denstone Peach
280	Unspecified	3SP™ E-Glass
281	Unspecified	3SP™ White
282	Unspecified	Accura® 25
283	Unspecified	Accura® 55
284	Unspecified	Accura® 60
285	Unspecified	Accura® Bluestonet
286	Unspecified	Accura® CastProt Free (SL 7800)
287	Unspecified	Accura® CastProt
288	Unspecified	Accura® CeraMAXt
289	Unspecified	Accura® ClearVue™
290	Unspecified	Accura® Sapphire
291	Unspecified	Accura® Xtreme™ White 200
292	Unspecified	Accura® Xtreme™
293	Unspecified	Amphora™ Flex 3D Polymer FL6000
294	Unspecified	Amphora™ 3D Polymer AM1800
295	Unspecified	Amphora™ 3D Polymer AM3300
296	Unspecified	Amphora™ 3D Polymer HT5300
297	Unspecified	Asiga® PlasCLEAR
298	Unspecified	Asiga® PlasGRAY
299	Unspecified	Asiga® PlasPINK
300	Unspecified	Asiga® PlasWHITE
301	Unspecified	CarbonResin PR 25
302	Unspecified	D-MEC SCR950
303	Unspecified	DIGITALWAX® DC 100
304	Unspecified	DIGITALWAX® DC 300
305	Unspecified	DIGITALWAX® DC 400
306	Unspecified	DIGITALWAX® DC 500
307	Unspecified	DIGITALWAX® DC 550
308	Unspecified	DIGITALWAX® DC 600
309	Unspecified	DIGITALWAX® DL 260
310	Unspecified	DIGITALWAX® DL 350
311	Unspecified	DIGITALWAX® DL 360
312	Unspecified	DIGITALWAX® DM 210
313	Unspecified	DIGITALWAX® DM 220
314	Unspecified	DIGITALWAX® DS 2000
315	Unspecified	DIGITALWAX® DS 3000
316	Unspecified	DIGITALWAX® IRIX

EK-1. (devam) AM Guide veri tabanı malzemeleri

#:	MAIN MATERIAL_GROUP:	MATERIAL DESCRIPTION:
317	Unspecified	DIGITALWAX® RD 095
318	Unspecified	DIGITALWAX® RD 096
319	Unspecified	DIGITALWAX® RF 065
320	Unspecified	DIGITALWAX® RF 068
321	Unspecified	DIGITALWAX® RF 080
322	Unspecified	DIGITALWAX® TEMPORIS
323	Unspecified	DuraForm® EX
324	Unspecified	DuraForm® FR 100
325	Unspecified	DuraForm® HST
326	Unspecified	DuraForm® ProX™
327	Unspecified	DurusWhite™ RGD430
328	Unspecified	Endur™ RGD450
329	Unspecified	Formlabs Clear
330	Unspecified	Perfactory® Clear Guide
331	Unspecified	Perfactory® E-Denstone
332	Unspecified	Perfactory® E-Shell 200
333	Unspecified	Perfactory® Easy Cast EC500
334	Unspecified	Perfactory® PIC100-PIC100G
335	Unspecified	Perfactory® RC25
336	Unspecified	ProtoCast 19122
337	Unspecified	ProtoGen 18120
338	Unspecified	ProtoGen 18420
339	Unspecified	ProtoGen 18920
340	Unspecified	ProtoTherm 12110
341	Unspecified	ProtoTherm 12120
342	Unspecified	Somos® 14120
343	Unspecified	Somos® 9110
344	Unspecified	Somos® 9120
345	Unspecified	Somos® 9420
346	Unspecified	Somos® BioClear
347	Unspecified	Somos® GP Plus 14122
348	Unspecified	Somos® NanoTool
349	Unspecified	Somos® NeXt LV Grey
350	Unspecified	Somos® NeXt
351	Unspecified	Somos® PerFORM
352	Unspecified	Stratasys Digital ABS
353	Unspecified	Stratasys RGD525

EK-1. (devam) AM Guide veri tabanı malzemeleri

#:	MAIN MATERIAL GROUP:	MATERIAL DESCRIPTION:
354	Unspecified	Stratasys RGD720
355	Unspecified	TangoBlackPlus™ FLX980
356	Unspecified	TangoBlack™ FLX973
357	Unspecified	TangoGray™ FLX950
358	Unspecified	TangoPlus™ FLX930
359	Unspecified	VeroBlackPlus™ RGD875
360	Unspecified	VeroBlue™ RGD840
361	Unspecified	VeroClear™ RGD810
362	Unspecified	VeroCyan™ RGD841
363	Unspecified	VeroGray™ RGD850
364	Unspecified	VeroMagenta™ RGD851
365	Unspecified	VeroWhitePlus™ RGD835
366	Unspecified	VeroYellow RGD836
367	Unspecified	VisiJet® C4 Spectrum™
368	Unspecified	VisiJet® CF-BK
369	Unspecified	VisiJet® CR-CL
370	Unspecified	VisiJet® CR-WT
371	Unspecified	VisiJet® FTI Black
372	Unspecified	VisiJet® FTI Blue
373	Unspecified	VisiJet® FTI Gray
374	Unspecified	VisiJet® FTI Ivory
375	Unspecified	VisiJet® FTI Red
376	Unspecified	VisiJet® FTI Zoom
377	Unspecified	VisiJet® FTX Cast
378	Unspecified	VisiJet® FTX Clear
379	Unspecified	VisiJet® FTX Gold
380	Unspecified	VisiJet® FTX Gray

EK-1. (devam) AM Guide veri tabanı malzemeleri

#:	MAIN MATERIAL_GROUP:	MATERIAL DESCRIPTION:
381	Unspecified	VisiJet® FTX Green
382	Unspecified	VisiJet® FTX Silver
383	Unspecified	VisiJet® M3 Black
384	Unspecified	VisiJet® M3 Crystal
385	Unspecified	VisiJet® M3 Dentcast
386	Unspecified	VisiJet® M3 Navy
387	Unspecified	VisiJet® M3 PearlStone
388	Unspecified	VisiJet® M3 Procast
389	Unspecified	VisiJet® M3 Proplast
390	Unspecified	VisiJet® M3 Stoneplast
391	Unspecified	VisiJet® M3 Techplast
392	Unspecified	VisiJet® M3 X
393	Unspecified	VisiJet® M5-Black
394	Unspecified	VisiJet® M5-MX
395	Unspecified	VisiJet® M5-X
396	Unspecified	VisiJet® PXL
397	Unspecified	WaterClear Ultra 10122
398	Unspecified	WaterShed XC 11122
399	Wax	Asiga® SuperCAST
400	Wax	VisiJet® M3 Hi-Cast
401	Wax	VisiJet® M3 ProWax

EK-2. Power Query sorguları

	MATERIAL GROUPS	MATERIAL	CRITERIA	MATERIAL FEATURES	FEATURES
1	ABS	3DMMAX® ABS 3D Filament	FEATURES	Amorphous	Amorphous
2	ABS	3DMMAX® ABS 3D Filament	FEATURES	High Flow	High Flow
3	ABS	3DMMAX® ESD-Safe ABS 3D Filament	FEATURES	Amorphous	Amorphous
4	ABS	3DMMAX® ESD-Safe ABS 3D Filament	FEATURES	ESD Protection	ESD Protection
5	ABS	3DMMAX® ESD-Safe ABS 3D Filament	FEATURES	Good Dimensional Stability	Good Dimensional Stability
6	ABS	3DMMAX® ESD-Safe ABS 3D Filament	FEATURES	High Heat Resistance	High Heat Resistance
7	ABS	ABSCentt® Transparent & Odorless ABS 3D Filament	FEATURES	Amorphous	Amorphous
8	ABS	ABSCentt® Transparent & Odorless ABS 3D Filament	FEATURES	High Flow	High Flow
9	ABS	ABSCentt® Transparent & Odorless ABS 3D Filament	FEATURES	Odorless	Odorless
10	ABS	ABSplus® P430	FEATURES	Durable	Durable
11	ABS	CarbonXt Carbon Fiber Reinforced ABS 3D Filament	FEATURES	Good Dimensional Stability	Good Dimensional Stability
12	ABS	CarbonXt Carbon Fiber Reinforced ABS 3D Filament	FEATURES	Good Stiffness	Good Stiffness
13	ABS	CarbonXt Carbon Fiber Reinforced ABS 3D Filament	FEATURES	High Heat Resistance	High Heat Resistance
14	ABS	Push Plastic Premium ABS	FEATURES	High Flow	High Flow
15	ABS	Push Plastic Premium ABS	FEATURES	High Gloss	High Gloss
16	ABS	Stratasys ABS-ESD7	FEATURES	Chemical Resistant	Chemical Resistant
17	ABS	Stratasys ABS-ESD7	FEATURES	Durable	Durable
18	ABS	Stratasys ABS-ESD7	FEATURES	Good Sterilizability	Good Sterilizability
19	ABS	Stratasys ABS-ESD7	FEATURES	High Heat Resistance	High Heat Resistance
20	ABS	Stratasys ABS-ESD7	FEATURES	High Impact Resistance	High Impact Resistance
21	ABS	Stratasys ABS-ESD7	FEATURES	Rapid Static Decay	Rapid Static Decay
22	ABS	Stratasys ABS-ESD7	FEATURES	Statically Conductive	Statically Conductive
23	ABS	Stratasys ABSi	FEATURES	Chemical Resistant	Chemical Resistant
24	ABS	Stratasys ABSi	FEATURES	Durable	Durable
25	ABS	Stratasys ABSi	FEATURES	Good Sterilizability	Good Sterilizability
26	ABS	Stratasys ABSi	FEATURES	Good Strength	Good Strength
27	ABS	Stratasys ABSi	FEATURES	High Heat Resistance	High Heat Resistance
28	ABS	Stratasys ABSi	FEATURES	High Impact Resistance	High Impact Resistance
29	ABS	Stratasys ABS-M30	FEATURES	Chemical Resistant	Chemical Resistant
30	ABS	Stratasys ABS-M30	FEATURES	Durable	Durable
31	ABS	Stratasys ABS-M30	FEATURES	Good Sterilizability	Good Sterilizability
32	ABS	Stratasys ABS-M30	FEATURES	Good Surface Finish	Good Surface Finish
33	ABS	Stratasys ABS-M30	FEATURES	High Heat Resistance	High Heat Resistance
34	ABS	Stratasys ABS-M30	FEATURES	High Impact Resistance	High Impact Resistance

Resim 2.1. Features Power Query ekranı

	MATERIAL	MATERIAL USES	USES
1	ABS	3DMMAX® ABS 3D Filament	Additive Manufacturing (3D Printing)
2	ABS	3DMMAX® ESD-Safe ABS 3D Filament	Additive Manufacturing (3D Printing)
3	ABS	ABSCentt® Transparent & Odorless ABS 3D Filament	Additive Manufacturing (3D Printing)
4	ABS	ABSplus® P430	Additive Manufacturing (3D Printing)
5	ABS	ABSplus® P430	Modeling Material
6	ABS	Argyle ABS (P400)	Additive Manufacturing (3D Printing)
7	ABS	Argyle ABS B31 (M-TYPE)	Additive Manufacturing (3D Printing)
8	ABS	Argyle ABSmax (P430)	Additive Manufacturing (3D Printing)
9	ABS	CarbonXt Carbon Fiber Reinforced ABS 3D Filament	Additive Manufacturing (3D Printing)
10	ABS	Stratasys ABS-ESD7	Additive Manufacturing (3D Printing)
11	ABS	Stratasys ABS-ESD7	Containers
12	ABS	Stratasys ABS-ESD7	Electrical Parts
13	ABS	Stratasys ABS-ESD7	Electrical/Electronic Applications
14	ABS	Stratasys ABS-ESD7	Housings
15	ABS	Stratasys ABS-ESD7	Industrial Applications
16	ABS	Stratasys ABS-ESD7	Industrial Parts
17	ABS	Stratasys ABS-ESD7	Packaging
18	ABS	Stratasys ABS-ESD7	Prototyping
19	ABS	Stratasys ABSi	Additive Manufacturing (3D Printing)
20	ABS	Stratasys ABSi	Automotive Applications
21	ABS	Stratasys ABSi	Engineering Parts
22	ABS	Stratasys ABSi	Medical/Healthcare Applications
23	ABS	Stratasys ABSi	Modeling Material
24	ABS	Stratasys ABSi	Prototyping
25	ABS	Stratasys ABS-M30	Additive Manufacturing (3D Printing)
26	ABS	Stratasys ABS-M30	Decorative Parts
27	ABS	Stratasys ABS-M30	Engineering Parts
28	ABS	Stratasys ABS-M30	Modeling Material
29	ABS	Stratasys ABS-M30	Prototyping
30	ABS	Stratasys ABS-M30	Tooling
31	ABS	Stratasys ABS-M30i	Additive Manufacturing (3D Printing)
32	ABS	Stratasys ABS-M30i	Engineering Parts
33	ABS	Stratasys ABS-M30i	Food Packaging

Resim 2.2. Uses Power Query ekranı

EK-2. (devam) Power Query sorguları

MATERIAL	MATERIAL	CRITERIA	MATERIAL PROCESSING METHOD	PROCESSING METHOD
1	ABS	3DXMAX® ABS 3D Filament	PROCESSING METHOD	3D Printing
2	ABS	3DXMAX® ABS 3D Filament	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
3	ABS	3DXMAX® ESD-Safe ABS 3D Filament	PROCESSING METHOD	3D Printing
4	ABS	3DXMAX® ESD-Safe ABS 3D Filament	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
5	ABS	ABScent® Transparent & Odorless ABS 3D Filament	PROCESSING METHOD	3D Printing
6	ABS	ABScent® Transparent & Odorless ABS 3D Filament	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
7	ABS	ABSplust P430	PROCESSING METHOD	3D Printing
8	ABS	ABSplust P430	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
9	ABS	Argyle ABS (P400)	PROCESSING METHOD	3D Printing
10	ABS	Argyle ABS (P400)	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
11	ABS	Argyle ABS B31 (M-TYPE)	PROCESSING METHOD	3D Printing
12	ABS	Argyle ABS B31 (M-TYPE)	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
13	ABS	Argyle ABSmax (P430)	PROCESSING METHOD	3D Printing
14	ABS	Argyle ABSmax (P430)	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
15	ABS	CarbonXt Carbon Fiber Reinforced ABS 3D Filament	PROCESSING METHOD	3D Printing
16	ABS	CarbonXt Carbon Fiber Reinforced ABS 3D Filament	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
17	ABS	Push Plastic Carbon Fiber ABS	PROCESSING METHOD	3D Printing
18	ABS	Push Plastic Carbon Fiber ABS	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
19	ABS	Push Plastic Premium ABS	PROCESSING METHOD	3D Printing
20	ABS	Push Plastic Premium ABS	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
21	ABS	Stratasys ABS-ESD7	PROCESSING METHOD	3D Printing
22	ABS	Stratasys ABS-ESD7	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
23	ABS	Stratasys ABSI	PROCESSING METHOD	3D Printing
24	ABS	Stratasys ABSI	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
25	ABS	Stratasys ABS-M30	PROCESSING METHOD	3D Printing
26	ABS	Stratasys ABS-M30	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
27	ABS	Stratasys ABS-M30i	PROCESSING METHOD	3D Printing
28	ABS	Stratasys ABS-M30i	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
29	ABS	Ultrafuse ABS Fusion+	PROCESSING METHOD	3D Printing
30	ABS	Ultrafuse ABS Fusion+	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
31	ABS	Ultrafuse ABS	PROCESSING METHOD	3D Printing
32	ABS	Ultrafuse ABS	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
33	Acrylic, Unspecified	EnvisionTEC D3 White M	PROCESSING METHOD	3D Printing

Resim 2.3. Processing method Power query ekranı

NUMB	MATERIAL	MATERIAL	CRITERIA	MATERIAL APPEARANCE	APPEARANCE
1	21	ABS	3DXMAX® ABS 3D Filament	APPEARANCE	Colors Available
2	18	ABS	3DXMAX® ABS 3D Filament	APPEARANCE	Colors Available
3	30	ABS	ABScent® Transparent & Odorless ABS 3D Filament	APPEARANCE	Clear/Transparent
4	31	ABS	ABScent® Transparent & Odorless ABS 3D Filament	APPEARANCE	Colors Available
5	45	ABS	ABSplust P430	APPEARANCE	Black
6	46	ABS	ABSplust P430	APPEARANCE	Blue
7	47	ABS	ABSplust P430	APPEARANCE	Dark Green
8	48	ABS	ABSplust P430	APPEARANCE	Dark Grey
9	49	ABS	ABSplust P430	APPEARANCE	Ivory
10	50	ABS	ABSplust P430	APPEARANCE	Orange
11	51	ABS	ABSplust P430	APPEARANCE	Red
12	52	ABS	ABSplust P430	APPEARANCE	White
13	53	ABS	ABSplust P430	APPEARANCE	Yellow
14	95	ABS	CarbonXt Carbon Fiber Reinforced ABS 3D Filament	APPEARANCE	Colors Available
15	134	ABS	Stratasys ABS-ESD7	APPEARANCE	Black
16	155	ABS	Stratasys ABSI	APPEARANCE	Clear Amber
17	156	ABS	Stratasys ABSI	APPEARANCE	Red
18	157	ABS	Stratasys ABSI	APPEARANCE	Translucent
19	181	ABS	Stratasys ABS-M30	APPEARANCE	Black
20	182	ABS	Stratasys ABS-M30	APPEARANCE	Blue
21	183	ABS	Stratasys ABS-M30	APPEARANCE	Dark Grey
22	184	ABS	Stratasys ABS-M30	APPEARANCE	Ivory
23	185	ABS	Stratasys ABS-M30	APPEARANCE	Red
24	186	ABS	Stratasys ABS-M30	APPEARANCE	White
25	215	ABS	Stratasys ABS-M30i	APPEARANCE	Ivory
26	238	ABS	Ultrafuse ABS	APPEARANCE	Colors Available
27	254	Acrylic, ...	EnvisionTEC D3 White M	APPEARANCE	White
28	274	Acrylic, ...	Perfactory® ABflex	APPEARANCE	Opaque
29	294	Acrylic, ...	Perfactory® ABS-tuff	APPEARANCE	Opaque
30	311	Acrylic, ...	Perfactory® E-Dent	APPEARANCE	Natural Color
31	312	Acrylic, ...	Perfactory® E-Dent	APPEARANCE	Off-White
32	313	Acrylic, ...	Perfactory® E-Dent	APPEARANCE	Opaque
33	314	Acrylic, ...	Perfactory® E-Dent	APPEARANCE	White

Resim 2.4. Appearance Power Query ekranı

EK-2. (devam) Power Query sorguları

1	1	ABS	CarbonX Carbon Fiber Reinforced ABS 3D Filament	FILLER/REINFORCEMENT	Carbon Fiber
2	1	ABS	Push Plastic Carbon Fiber ABS	FILLER/REINFORCEMENT	Milled Carbon Fiber
3	1	Acrylic, Unspecified	Perfactory® E-Dent	FILLER/REINFORCEMENT	Inorganic,
4	1	Acrylic, Unspecified	Perfactory® E-Dent	FILLER/REINFORCEMENT	49% Filler by Weight
5	1	Acrylic, Unspecified	Perfactory® E-Dent	FILLER/REINFORCEMENT	30% Filler by Volume
6	1	Acrylic, Unspecified	Perfactory® Photosilver	FILLER/REINFORCEMENT	Ceramic Bead
7	1	Acrylic, Unspecified	Perfactory® RC31	FILLER/REINFORCEMENT	Unspecified Nano
8	1	Nylon 11	Ultrasint PA11 black CF	FILLER/REINFORCEMENT	Carbon Fiber
9	1	Nylon 11	Ultrasint PA11 GB30	FILLER/REINFORCEMENT	Glass Bead
10	1	Nylon 12	EOS Alumide®	FILLER/REINFORCEMENT	Aluminum
11	1	Nylon 12	EOS CarbonMide®	FILLER/REINFORCEMENT	Carbon Fiber
12	1	Nylon 12	EOS PA 3200 GF	FILLER/REINFORCEMENT	Glass Bead
13	1	Nylon 12	HP 3D High Reusability PA 12 Glass Beads	FILLER/REINFORCEMENT	Glass Bead
14	1	Nylon 12	HP 3D High Reusability PA 12 Glass Beads	FILLER/REINFORCEMENT	40% Filler by Weight
15	1	Nylon 6	AKROMID® B3 ICF 10 AM black (7840)	FILLER/REINFORCEMENT	Carbon Fiber
16	1	Nylon 6	AKROMID® B3 ICF 10 AM black (7840)	FILLER/REINFORCEMENT	10% Filler by Weight
17	1	Nylon 6	AKROMID® B3 ICF 30 9 AM black (7451)	FILLER/REINFORCEMENT	Carbon Fiber
18	1	Nylon 6	AKROMID® B3 ICF 30 9 AM black (7451)	FILLER/REINFORCEMENT	30% Filler by Weight
19	1	Nylon 6	SINTERLINE® POWDER PA6 6300 HT 110 NATURAL	FILLER/REINFORCEMENT	Glass Bead
20	1	Nylon 6	SINTERLINE® POWDER PA6 6300 HT 110 NATURAL	FILLER/REINFORCEMENT	40% Filler by Weight
21	1	Nylon 6	Ultrasint PA6 GB X055	FILLER/REINFORCEMENT	Glass Bead
22	1	Nylon 6	Ultrasint PA6 GB X055	FILLER/REINFORCEMENT	50% Filler by Weight
23	1	Nylon 6	Ultrasint PA6 MF black	FILLER/REINFORCEMENT	Mineral
24	1	Nylon 6	XSTRAND® GF30-PA6	FILLER/REINFORCEMENT	Glass Fiber
25	1	Nylon 6	XSTRAND® GF30-PA6	FILLER/REINFORCEMENT	30% Filler by Weight
26	1	Nylon 66-6	Novamid® ID 1030-CF10	FILLER/REINFORCEMENT	Carbon Fiber
27	1	Nylon 66-6	Novamid® ID 1030-CF10	FILLER/REINFORCEMENT	10% Filler by Weight
28	1	Nylon, Unspecified	3DXMAX® Carbon Fiber Reinforced Nylon 3D Filament	FILLER/REINFORCEMENT	Carbon Fiber
29	1	Nylon, Unspecified	DuraForm® GF	FILLER/REINFORCEMENT	Glass Fiber
30	1	Nylon, Unspecified	Ultrafuse PAHT CF15	FILLER/REINFORCEMENT	Carbon Fiber
31	1	Nylon, Unspecified	Ultrafuse PAHT CF15	FILLER/REINFORCEMENT	15% Filler by Weight
32	1	Nylon, Unspecified	WINDFORM® GF 2.0	FILLER/REINFORCEMENT	Aluminum
33	1	Nylon, Unspecified	WINDFORM® GF 2.0	FILLER/REINFORCEMENT	Glass Fiber
34	1	Nylon, Unspecified	WINDFORM® GT	FILLER/REINFORCEMENT	Glass Fiber
35					

Resim 2.5. Filler/reinforcement Power Query ekranı

1	2098	1	Nylon 6	AKROMID® B3 ICF 10 AM black (7840)	RESIN ID (ISO 1043)	PA6 CF10
2	2122	1	Nylon 6	AKROMID® B3 ICF 30 9 AM black (7451)	RESIN ID (ISO 1043)	PA6 CF30
3	2133	1	Nylon 6	SINTERLINE® POWDER PA6 3400 HT 110 NAT...	RESIN ID (ISO 1043)	PA6
4	2156	1	Nylon 6	SINTERLINE® POWDER PA6 6300 HT 110 NAT...	RESIN ID (ISO 1043)	PA6-GB40
5	2363	1	Nylon 66-6	Novamid® ID 1030	RESIN ID (ISO 1043)	PA666
6	2402	1	Nylon Copolymer	Novamid® ID 1070	RESIN ID (ISO 1043)	PA copolymer
7	3022	1	PET	Arite® ID 3040	RESIN ID (ISO 1043)	PET
8	3435	1	PPA	ForTill® LD5858	RESIN ID (ISO 1043)	PPA-GF30
9	4199	1	TPE	Arite® ID 2045	RESIN ID (ISO 1043)	TPC
10			null			clear SELECTION

Resim 2.6. RESIN ID (ISO 1043) Power Query ekranı

EK-2. (devam) Power Query sorguları

FORMS - Power Query Düzenleyicisi

Veri Türü: Tamsayı

Sorguların Birleştir - İlk Satırı Üst Bilgi Olarak Kullan - Sorguların Ekle - Dosyaları Birleştir - Parametreleri Yönet - Veri kaynağı ayarları

Sorgular [18]

Table.TransformColumnTypes(#Tanıtılan Üst Bilgiler,{"#", Int64.Type), {"NUMBER OF CHOSEN OPTION:"

#	I3 #	I3 N.	M.	MATERIAL	CRITERIA	MATERIAL FORMS	FORMS
1	226	1	ABS	Ultrafuse ABS Fusion+	FORMS	Filament	Filament
2	239	1	ABS	Ultrafuse ABS	FORMS	Filament	Filament
3	255	1	Acrylic, ...	EnvsionTEC D3 White M	FORMS	Liquid	Liquid
4	275	1	Acrylic, ...	Perfactory@ ABflex	FORMS	Liquid	Liquid
5	295	1	Acrylic, ...	Perfactory@ ABS-tuff	FORMS	Liquid	Liquid
6	315	1	Acrylic, ...	Perfactory@ E-Dent	FORMS	Liquid	Liquid
7	327	1	Acrylic, ...	Perfactory@ E-Partial	FORMS	Liquid	Liquid
8	357	1	Acrylic, ...	Perfactory@ E-Shell 300	FORMS	Liquid	Liquid
9	378	1	Acrylic, ...	Perfactory@ HTM140	FORMS	Liquid	Liquid
10	398	1	Acrylic, ...	Perfactory@ HTM140V	FORMS	Liquid	Liquid
11	421	1	Acrylic, ...	Perfactory@ LS600	FORMS	Liquid	Liquid
12	440	1	Acrylic, ...	Perfactory@ Photosilver	FORMS	Liquid	Liquid
13	457	1	Acrylic, ...	Perfactory@ Press-E-Cast	FORMS	Liquid	Liquid
14	486	1	Acrylic, ...	Perfactory@ R5 Gray	FORMS	Liquid	Liquid
15	510	1	Acrylic, ...	Perfactory@ R5	FORMS	Liquid	Liquid
16	524	1	Acrylic, ...	Perfactory@ R11	FORMS	Liquid	Liquid
17	549	1	Acrylic, ...	Perfactory@ RC31	FORMS	Liquid	Liquid
18	566	1	Acrylic, ...	Perfactory@ WIC100G	FORMS	Liquid	Liquid

Resim 2.7. Forms Power Query ekranı

ADDITIVE - Power Query Düzenleyicisi

Veri Türü: Tamsayı

Sorguların Birleştir - Sorguların Ekle - Dosyaları Birleştir - Parametreleri Yönet - Veri kaynağı ayarları

Sorgular [18]

Table.TransformColumnTypes(#Tanıtılan Üst Bilgiler,{"#", Int64.Type), {"NUMBER OF CHOSEN OPTION:"

#	NUMBER OF CHOSEN OPTI...	MATERIAL GROUPS	MATERIAL	CRITERIA	MATERIAL ADDITIVE	ADDIT
1	1926	Nylon 12	EOS PA 2210 FR	ADDITIVE	Flame Retardant	Flame Reta
2	1953	Nylon 12	EOS PA 2241 FR	ADDITIVE	Flame Retardant	Flame Reta
3	2327	Nylon 66	Amilan@ CM3006	ADDITIVE	Heat Stabilizer	Heat Stabil
4	2740	PC	XANTARt LDS 3730	ADDITIVE	Flame Retardant	Flame Reta
5	2755	PC	XANTARt LDS 3760	ADDITIVE	Flame Retardant	Flame Reta
6	5020	Unspecified	DuraForm® FR 100	ADDITIVE	Flame Retardant	Flame Reta
7	null	null	null	null	CLEAR SELECTION	CLEAR SEL

Resim 2.8. Additive Power Query ekranı

EK-2. (devam) Power Query sorguları

The screenshot shows the Power Query Editor interface for an ISO Designation query. The ribbon at the top includes options for 'Dönüştür', 'Sütun Ekle', 'Görünüm', and 'Veri Türü: Tamsayı'. The left sidebar lists various categories, with 'ISO DESIGNATION' selected. The main area displays a table with columns for 'I23 #', 'I23 N...', 'MATERIAL GROUPS', 'MATERIAL', 'CRITERIA', and 'MATERIAL ISO DESIGNATION'. The table contains three rows of data. A right sidebar shows 'Sorgu Ay...' settings.

I23 #	I23 N...	MATERIAL GROUPS	MATERIAL	CRITERIA	MATERIAL ISO DESIGNATION	ISO DESIGNATION
2340	1	Nylon 66	Amilan@ CM3006	ISO DESIGNATION	>PA66<	>PA66<
2375	1	Nylon Copolymer	Amilan@ CM4000	ISO DESIGNATION	>PA<	>PA<
null	null	null	null	null	CLEAR SELECTION	CLEAR SELECTION

Resim 2.9. ISO Designation Power Query ekranı

The screenshot shows the Power Query Editor interface for a RoHS Compliance query. The ribbon at the top includes options for 'Dönüştür', 'Sütun Ekle', 'Görünüm', and 'Veri Türü: Tamsayı'. The left sidebar lists various categories, with 'RoHS COMPLIANCE' selected. The main area displays a table with columns for 'I23 #', 'I23 N...', 'MATERIAL GROUPS', 'MATERIAL', 'CRITERIA', and 'MATERIAL RoHS COMPLIAN...'. The table contains 12 rows of data. A right sidebar shows 'Sorgu Ay...' settings.

I23 #	I23 N...	MATERIAL GROUPS	MATERIAL	CRITERIA	MATERIAL RoHS COMPLIAN...	RoHS COMPLIAN...
2033	1	Nylon 12	HP 3D High Reusability PA 12	RoHS COMPLIANCE	RoHS Compliant	RoHS
2127	1	Nylon 6	SINTERLINE@ POWDER PA6 3400 HT 110 NAT...	RoHS COMPLIANCE	RoHS Compliant	RoHS
2150	1	Nylon 6	SINTERLINE@ POWDER PA6 6300 HT 110 NAT...	RoHS COMPLIANCE	RoHS Compliant	RoHS
2876	1	PEEK	KetaSpire@ CF10 HC AM Filament	RoHS COMPLIANCE	Contact Manufacturer	Cont
2900	1	PEEK	KetaSpire@ CF10 LS1 AM Filament	RoHS COMPLIANCE	Contact Manufacturer	Cont
2921	1	PEEK	KetaSpire@ MS NT1 AM Filament	RoHS COMPLIANCE	Contact Manufacturer	Cont
2943	1	PEEK	KetaSpire@ NT1 HC AM Filament	RoHS COMPLIANCE	Contact Manufacturer	Cont
3456	1	PPSU	Radel@ MS NT1 AM Filament	RoHS COMPLIANCE	Contact Manufacturer	Cont
3480	1	PPSU	Radel@ MS NT1 HC AM Filament	RoHS COMPLIANCE	Contact Manufacturer	Cont
3677	1	PVDF	Solef@ PVDF AM Filament MSC NT 1	RoHS COMPLIANCE	Contact Manufacturer	Cont
4261	1	TPU, Unspecified	NinjaFlex Filament	RoHS COMPLIANCE	RoHS Compliant	RoHS
null	null	null	null	null	CLEAR SELECTION	CLEAR SELECTION

Resim 2.10. RoHS Compliance Power Query ekranı

EK-2. (devam) Power Query sorguları

The screenshot shows the Power Query Editor interface for a query named "RECYCLED CONTENT". The query is a table with the following columns and data:

I23 #	I23 N.	A2C M.	A2C MATERIAL	A2C CRITERIA	A2C MATERIAL RECYCLED CONTEN...	A2C RECYCLED CONTENT
1	3096	J PET	Ultrafuse rPET	RECYCLED CONTENT	Yes	Yes
2	3158	J PETG	MIMESIS DP 300	RECYCLED CONTENT	Yes	Yes
3	3178	J PETG	MIMESIS DP 301	RECYCLED CONTENT	Yes	Yes
4	null	null	null	null	CLEAR SELECTION	CLEAR SELECTION

Resim 2.11. Recycled content Power Query ekranı

The screenshot shows the Power Query Editor interface for a query named "AGENCY RATINGS". The query is a table with the following columns and data:

I23 #	I23 N.	A2C MATERIAL GROUPS	A2C MATERIAL	A2C CRITERIA	A2C MATERIAL AGENCY RATINGS
1	214	J ABS	Stratasys ABS-M30i	AGENCY RATINGS	USP Class VI
2	310	J Acrylic, Unspecified	Perfactory® E-Dent	AGENCY RATINGS	FDA Unspecified Rating
3	347	J Acrylic, Unspecified	Perfactory® E-Shell 300	AGENCY RATINGS	ISO 10993
4	720	J Biodeg Polymers	boffa® linen	AGENCY RATINGS	EC 1907/2006 (REACH)
5	732	J Biodeg Polymers	boffa® silk	AGENCY RATINGS	EC 1907/2006 (REACH)
6	1214	J Epoxy	Vslet® SL Clear	AGENCY RATINGS	USP Class VI
7	1537	J Nylon 11	EOS PA 1101	AGENCY RATINGS	ISO 10993 Part 5
8	1763	J Nylon 12	EOS PA 2200 Balance 1.0	AGENCY RATINGS	EU 2002/72/EC
9	1764	J Nylon 12	EOS PA 2200 Balance 1.0	AGENCY RATINGS	ISO 10993
10	1765	J Nylon 12	EOS PA 2200 Balance 1.0	AGENCY RATINGS	USP Class VI
11	1791	J Nylon 12	EOS PA 2200 Performance 1.0	AGENCY RATINGS	EU 2002/72/EC
12	1792	J Nylon 12	EOS PA 2200 Performance 1.0	AGENCY RATINGS	ISO 10993
13	1793	J Nylon 12	EOS PA 2200 Performance 1.0	AGENCY RATINGS	USP Class VI
14	1817	J Nylon 12	EOS PA 2200 Speed 1.0	AGENCY RATINGS	EU 2002/72/EC
15	1818	J Nylon 12	EOS PA 2200 Speed 1.0	AGENCY RATINGS	ISO 10993
16	1819	J Nylon 12	EOS PA 2200 Speed 1.0	AGENCY RATINGS	USP Class VI
17	1845	J Nylon 12	EOS PA 2200 Top Quality 1.0	AGENCY RATINGS	EU 2002/72/EC
18	1846	J Nylon 12	EOS PA 2200 Top Quality 1.0	AGENCY RATINGS	ISO 10993

Resim 2.12. Agency ratings Power Query ekranı

EK-2. (devam) Power Query sorguları

#	MATERIAL GROUPS	MATERIAL	CRITERIA	MATERIAL STATUS	MA
1	ABS	3DXMAX® ABS 3D Filament	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
2	ABS	ABScent® Transparent & Odorless ABS 3D Filament	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
3	ABS	ABSplast P430	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
4	ABS	Argyle ABS (P400)	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
5	ABS	Argyle ABS B31 (M-TYPE)	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
6	ABS	Argyle ABSmax (P430)	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
7	ABS	CarbonXt Carbon Fiber Reinforced ABS 3D Filament	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
8	ABS	Push Plastic Carbon Fiber ABS	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
9	ABS	Push Plastic Premium ABS	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
10	ABS	Stratasys ABS-ESD7	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
11	ABS	Stratasys ABS-M30	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
12	ABS	Stratasys ABS-M30i	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
13	ABS	Ultrafuse ABS Fusion+	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
14	ABS	Ultrafuse ABS	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
15	Acrylic, Unspecified	EnvonTEC D3 White M	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
16	Acrylic, Unspecified	Perfactory® ABflex	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
17	Acrylic, Unspecified	Perfactory® ABS-tuff	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com
18	Acrylic, Unspecified	Perfactory® E-Dent	MATERIAL STATUS	Commercial: Active	Com

Resim 2.13. Material status Power Query ekranı

#	MATERIAL	CRITERIA	MATERIAL AVAILABILITY	AVAILABILITY
1	3DXMAX® ABS 3D Filament	AVAILABILITY	Europe	Europe
2	3DXMAX® ABS 3D Filament	AVAILABILITY	North America	North America
3	3DXMAX® ESD-Safe ABS 3D Filament	AVAILABILITY	Europe	Europe
4	3DXMAX® ESD-Safe ABS 3D Filament	AVAILABILITY	North America	North America
5	ABScent® Transparent & Odorless ABS 3D Filament	AVAILABILITY	Europe	Europe
6	ABScent® Transparent & Odorless ABS 3D Filament	AVAILABILITY	North America	North America
7	ABSplast P430	AVAILABILITY	Africa & Middle East	Africa & Middle East
8	ABSplast P430	AVAILABILITY	Asia Pacific	Asia Pacific
9	ABSplast P430	AVAILABILITY	Europe	Europe
10	ABSplast P430	AVAILABILITY	Latin America	Latin America
11	ABSplast P430	AVAILABILITY	North America	North America
12	Argyle ABS (P400)	AVAILABILITY	Africa & Middle East	Africa & Middle East
13	Argyle ABS (P400)	AVAILABILITY	Asia Pacific	Asia Pacific
14	Argyle ABS (P400)	AVAILABILITY	Europe	Europe
15	Argyle ABS (P400)	AVAILABILITY	Latin America	Latin America
16	Argyle ABS (P400)	AVAILABILITY	North America	North America
17	Argyle ABS B31 (M-TYPE)	AVAILABILITY	Africa & Middle East	Africa & Middle East
18	Argyle ABS B31 (M-TYPE)	AVAILABILITY	Asia Pacific	Asia Pacific

Resim 2.14. Availability Power Query ekranı

EK-2. (devam) Power Query sorguları

The screenshot shows the Power Query Editor interface for a query named 'UL FILE NUMBER'. The formula bar contains the following M code: `= Table.TransformColumnTypes(#"Tanıtılan Üst Bilgiler",{{"#", Int64.Type}, {"NUMBER OF CHOSEN OPTION:",`

#	44	1	ABS	ABSplust P430	UL FILE NUMBER	E345258
2	180	1	ABS	Stratasys ABS-M30	UL FILE NUMBER	E345258
3	2721	1	PC	Stratasys PC	UL FILE NUMBER	E345258
4	2807	1	PC+ABS	Stratasys PC-ABS	UL FILE NUMBER	E345258
5	3008	1	PEI	Stratasys ULTEM 9085	UL FILE NUMBER	E345258
6	3505	1	PPSU	Stratasys PPSF	UL FILE NUMBER	E345258
7	null	null	null	null	null	CLEAR SELECTION

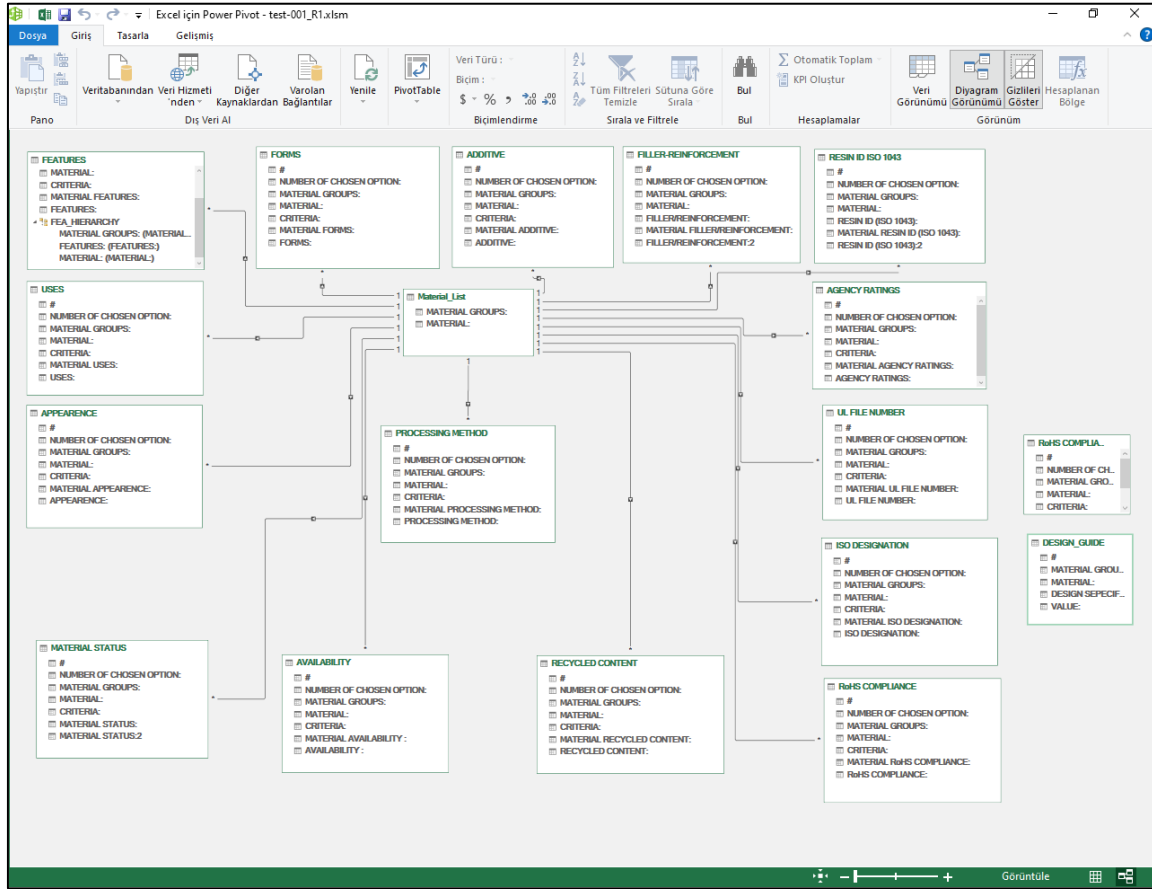
Resim 2.15. UL File number Power Query ekranı

The screenshot shows the Power Query Editor interface for a query named 'Material_List'. The formula bar contains the following M code: `= Table.TransformColumnTypes(Material_List_Table,{{"MATERIAL GROUPS:", type text}, {"MATERIAL:", type text}})`

MATERIAL GROUPS:	MATERIAL:
1	ABS
2	3DXMAX® ABS 3D Filament
3	3DXMAX® ESD-Safe ABS 3D Filament
4	ABS
5	ABScent® Transparent & Odorless ABS 3D Filament
6	ABS
7	ABSplust P430
8	Argyle ABS (P400)
9	Argyle ABS B31 (M-TYPE)
10	Argyle ABSmax (P430)
11	CarbonXt Carbon Fiber Reinforced ABS 3D Filament
12	ABS
13	Push Plastic Carbon Fiber ABS
14	ABS
15	Push Plastic Premium ABS
16	ABS
17	Stratasys ABS-ESD7
18	Stratasys ABS
19	Stratasys ABS-M30
20	Stratasys ABS-M30I
21	ABS
22	Stratasys ABS-M30I
23	ABS
24	Stratasys ABS-M30I
25	ABS
26	Stratasys ABS-M30I
27	ABS
28	Stratasys ABS-M30I
29	ABS
30	Stratasys ABS-M30I
31	ABS
32	Stratasys ABS-M30I
33	ABS
34	Stratasys ABS-M30I
35	ABS
36	Stratasys ABS-M30I
37	ABS
38	Stratasys ABS-M30I
39	ABS
40	Stratasys ABS-M30I
41	ABS
42	Stratasys ABS-M30I
43	ABS
44	Stratasys ABS-M30I
45	ABS
46	Stratasys ABS-M30I
47	ABS
48	Stratasys ABS-M30I
49	ABS
50	Stratasys ABS-M30I
51	ABS
52	Stratasys ABS-M30I
53	ABS
54	Stratasys ABS-M30I
55	ABS
56	Stratasys ABS-M30I
57	ABS
58	Stratasys ABS-M30I
59	ABS
60	Stratasys ABS-M30I
61	ABS
62	Stratasys ABS-M30I
63	ABS
64	Stratasys ABS-M30I
65	ABS
66	Stratasys ABS-M30I
67	ABS
68	Stratasys ABS-M30I
69	ABS
70	Stratasys ABS-M30I
71	ABS
72	Stratasys ABS-M30I
73	ABS
74	Stratasys ABS-M30I
75	ABS
76	Stratasys ABS-M30I
77	ABS
78	Stratasys ABS-M30I
79	ABS
80	Stratasys ABS-M30I
81	ABS
82	Stratasys ABS-M30I
83	ABS
84	Stratasys ABS-M30I
85	ABS
86	Stratasys ABS-M30I
87	ABS
88	Stratasys ABS-M30I
89	ABS
90	Stratasys ABS-M30I
91	ABS
92	Stratasys ABS-M30I
93	ABS
94	Stratasys ABS-M30I
95	ABS
96	Stratasys ABS-M30I
97	ABS
98	Stratasys ABS-M30I
99	ABS
100	Stratasys ABS-M30I

Resim 2.16. Material groups-list Power Query ekranı

EK-3. Power Pivot ilişkileri



Resim 3.1. Power pivot ilişkileri

EK-4. Pivot table alanları ve filtreleme yaklaşımı

1	MATERIAL:	CRITERIA:	OPTION:
2	3DXMAX® ABS 3D Filament	MATERIAL GROUPS	ABS
3	3DXMAX® ABS 3D Filament	MATERIAL STATUS	Commercial: Active
4	3DXMAX® ABS 3D Filament	AVAILABILITY	Europe
5	3DXMAX® ABS 3D Filament	AVAILABILITY	North America
6	3DXMAX® ABS 3D Filament	FEATURES	Amorphous
7	3DXMAX® ABS 3D Filament	FEATURES	High Flow
8	3DXMAX® ABS 3D Filament	USES	Additive Manufacturing (3D Printing)
9	3DXMAX® ABS 3D Filament	PROCESSING METHOD	3D Printing
10	3DXMAX® ABS 3D Filament	PROCESSING METHOD	Fused Filament Fabrication (FFF)
11	3DXMAX® ABS 3D Filament	APPEARENCE	Colors Available

↓

1	MATERIAL:	CRITERIA:	OPTION:
6436	Visijet® M3 ProWax	MATERIAL GROUPS	Wax
6437	Visijet® M3 ProWax	MATERIAL STATUS	Commercial: Active
6438	Visijet® M3 ProWax	AVAILABILITY	Asia Pacific
6439	Visijet® M3 ProWax	AVAILABILITY	Europe
6440	Visijet® M3 ProWax	AVAILABILITY	North America
6441	Visijet® M3 ProWax	USES	Additive Manufacturing (3D Printing)
6442	Visijet® M3 ProWax	USES	Modeling Material
6443	Visijet® M3 ProWax	USES	Mold Making
6444	Visijet® M3 ProWax	APPEARENCE	Light Blue
6445	Visijet® M3 ProWax	PROCESSING METHOD	3D Printing
6446	Visijet® M3 ProWax	PROCESSING METHOD	Jetted Photopolymer

Resim 4.1. Genel malzeme veri tabanı (eklenen ilk ve son malzeme)

Pivot Table Alanı

Seçim Ekranı

Alt Tablolar & Power Query Tabloları

Seçim Ekranı

MATERIALS	NUMBER OF OPTIONS PROVIDED
Ultrasint PA11 GB30	2
Good Softness	1
Good Strength	1
Farmbuc Clear	2
Good Softness	1
Good Strength	1
XSTRANDI GF30-PP	1
Good Heat Resistance	1
-Aig® FlapINK	1
Good Strength	1
Amphora™ Flex 3D Polimer FL6000	1
Good Toughness	1

Resim 4.2. Pivot table ve filtreleme yaklaşımı



Gazili olmak ayrıcalıktır