

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLİKÇİ-YARATICI SORUN ÇÖZME YAKLAŞIMININ (TRIZ)
İMALAT İÇİN TASARIM (DFM) ALANINA UYGULANMASI

Onur Ozan Çilsal

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2005

BURSA 2005
T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLİKÇİ-YARATICI SORUN ÇÖZME YAKLAŞIMININ (TRIZ)
İMALAT İÇİN TASARIM (DFM) ALANINA UYGULANMASI

Onur Ozan Çılsal

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 08.11.2005 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.M.Cemal ÇAKIR
(Danışman)

Prof. Dr. Emin GÜLLÜ

Prof. Dr. Recep EREN

Özet

Geliştirilen metodun amacı, talaşlı imalatla karşılaşlan üretilebilirlik problemlerinin talaşlı imalat süreçlerine ait temel özelliklerinin çelişmesi şeklinde ifade edilmesi sonrasında, bu çelişkileri ortadan kaldırmak için uygulanabilecek çözüm önerilerine erişim için yöntem tanımlamaktır.

Çözüm önerilerine ulaşabilmek için öncelikle problemin standart özelliklerden ikisinin çıkışması olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Çözüm önerilerinin belirlenmesinde DFM (Üretim için tasarım) kaynakları başta olmak üzere çeşitli tasarım ve problem çözme kaynaklarından yararlanılmıştır. Ayrıca sanayideki tecrübeli makina konstrüktörlerinin tasarım önerileri de belirli oranda sorgulanmıştır. DFM her türlü üretimin daha üretilecek ürünün olası üretim problemlerini tasarım aşamasındayken ortadan kaldırmak için kullanılan bir yarı-problem çözme tekniğidir. Ortaya konan çok miktardaki tasarım ve çözüm önerisini sistematik şekilde ayıklamak, duruma uygun öneriye ulaşmak için ise yaratıcı problem çözüm tekniği olan TRIZ sistematüğinden yararlanılmıştır. Rus bilim adamı Genrich Saulovich Altshuller tarafından binlerce patentin detaylı incelenmesi sonrasında geliştirilen metod problem çözümü için sistematik bir yol sunmaktadır. Geliştirilen metod standart özellikler metodun kolay kullanımı açısından sınıflandırılmış ve bir matris üzerine aktarılmıştır. Yatayda ve dikeyde bulunan özellik maddelerinin kesişim noktalarında çözüm önerileri numaraları bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler: DFM, TRIZ, Üretilebilirlik için tasarım, Problem çözüm tekniği

Abstract

Aim of the developed method is to express the manufacturability problems encountered in machining processes as contradictions of basic parameters which belong to the machining processes and defining a method for reaching solution recommendations which can be applied to remove the contradiction.

Firstly in order to get the solution recommendations, problems must be stated in form of a contradiction between two parameters. DFM (Design for manufacturing). literature and various design and problem solving methods have been used and inspected to determine the solution recommendations. In addition to that, solution recommendations of experienced designers have been also collected. DFM is a semi-problem solving method that is used to eliminate probable manufacturing problems of a product during the design phase. Inventive problem solving method TRIZ has been benefitted to sort various design and solution recommendations and then to get the appropriate solution recommendations. TRIZ methodology which has been developed by Russian Scientist Genrich Saulovich Altshuller after studying thousands of patents thoroughly, presents a systematic way for solving problems. In the developed method Basic parameters have been sorted for ease of use and transferred to a matrix. Solution recommendations have been placed at the intersections of columns and rows.

Keywords: DFM, TRIZ, Design for manufacturability, Problem solving method

1	GİRİŞ	2
2	KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3	DFM.....	7
3.1	ÜRETİLEBİLİRLİK İÇİN GENEL TASARIM PRENSİPLERİ	7
3.2	GENEL TASARIM KURALLARI.....	10
3.3	TASARIM MÜHENDİSİNİN SORUMLULUKLARI.....	12
3.4	ÜRETİM MÜHENDİSLERİNİN SORUMLULUKLARI.....	12
3.4.1	<i>Maliyet faktörleri</i>	<i>13</i>
3.5	DFM METODUNUN FİRMA İÇİNDE YAYILIM.....	18
3.5.1	<i>Yönetimin rolü.....</i>	<i>18</i>
3.5.2	<i>Planlı ilerleme.....</i>	<i>18</i>
3.5.3	<i>Tasarım çalışmalarının yönlendirilmesi</i>	<i>19</i>
3.5.4	<i>Takım.....</i>	<i>19</i>
3.6	YENİ SİSTEMİN YÖNETİMİ.....	23
3.6.1	<i>Takımın yönetilmesinde yararlı olacak sistem araçları.....</i>	<i>23</i>
3.6.2	<i>DFM aktivitelerinin yapılması için uygun zamanlama.....</i>	<i>25</i>
3.7	TASARIM ÖNERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	25
3.8	TASARIMIN DEĞERLENDİRİLMESİ	26
3.8.1	<i>Montaj değerlendirme sistemleri</i>	<i>27</i>
3.8.2	<i>Tekil parçaların üretilebilirlik değerlendirmeleri</i>	<i>28</i>
3.8.3	<i>DFX özelliklerinin değerlendirilmesi.....</i>	<i>29</i>
3.8.4	<i>Değerlendirmeyi yapacak taraflar.....</i>	<i>30</i>
4	TRIZ VE ÇELİŞKİLER MATRİSİ.....	31
4.1	PROBLEM ÇÖZÜMÜ ALANINDAKİ YENİ YAKLAŞIM	32
4.2	ÇELİŞKİLER	33
4.2.1	<i>Takaslar ve doğal çelişkiler</i>	<i>34</i>
4.3	KAYNAKLAR	35
4.4	İDEAL SİSTEM / SONUÇ	36

4.5	GELİŞİM KALIPLARI	37
5	DFM VE TRIZ METODUNUN ENTEGRASYONU	40
5.1	TALAŞLI İMALAT ALANINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER İÇİN ÖNERİLER	46
6	UYGULAMA ÖRNEKLERİ	95
6.1	UYGULAMA 1	95
6.2	UYGULAMA 2	99
7	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	103
8	EKLER.....	107
9	TEŞEKKÜR	108
10	ÖZGEÇMİŞ.....	109

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3-1. Tolerans genişliği maliyet ilişkisi	8
Şekil 3-2. Yüzey pürüzlülüğü – üretim süresi ilişkisi	8
Şekil 3-3 Delikler arası yeterli boşluk bırakılması	11
Şekil 3-4 DFM metodunun kullanımı ile elde edilen kazançlar.	13
Şekil 4-1 Eski yaklaşım ve yeni yaklaşımın karşılaştırılması	32
Şekil 4-2 Araçlar ve nesneler arasındaki çelişkiler	33
Şekil 4-3 Farklı ilişki tipleri	34
Şekil 4-4 Teknik sistemlerdeki kaynaklar	35
Şekil 4-5 Teknik yapıların ideallliği	36
Şekil 4-6 Teknik sistemlerin gelişimi için gelişim kalıpları	37
Şekil 4-7 Altshullerin 39X39lük çelişkiler matrisi	39
Şekil 5-1 Yeni oluşturulan çelişkiler matrisi	45
Şekil 5-2 Talaşlı imalat işlemlerinin eliminasyonu	46
Şekil 5-3 hammadde boyutlarının kullanımı	48
Şekil 5-4 İnce cidarlı parçaların işlenmesi	49
Şekil 5-5 Erişimin zor olduğu bölgelerin eliminasyonu	50
Şekil 5-6 Talaşlı imalat yerine sac malzeme kullanımı.	51
Şekil 5-7 Standart uç formuna uygun tasarım.	53
Şekil 5-8 işlemin tek seferde tamamlanması esası.	56
Şekil 5-9 Form takımların kullanımında belirli sınırlamalar mevcuttur.	58
Şekil 5-10 Boşluk açıları büyük önem taşır.	58
Şekil 5-11 Dip kanal oyma.	59
Şekil 5-12 Dairesel parçalarda dış kanallar daha çok tercih edilir.	59
Şekil 5-13 Standart matkap formları ek işlemlerden kurtaracaktır.	60
Şekil 5-14 Diş açılmış yüzeylerde başka işlem yapılmamasına dikkat edilmelidir.	61
Şekil 5-15 Keskin köşeler mukavemet açısından problemli bölgelerdir.	63
Şekil 5-16 kademersiz geçiş işlem süresini ve maliyetleri arttıracaktır.	63

Şekil 5-17 Kanal dipleri freze çakısının formunda bırakılabilir.	64
Şekil 5-18 Silindirik markalama daha net ve kolay markalamaya olanak tanır.	65
Şekil 5-19 Parça geometrisinin rijitliğe etkisi.	67
Şekil 5-20 boşluk açıları yüzey kalitesi ve takım ömrünü etkiler	68
Şekil 5-21 Keskin köşeler uç radyüsünün büyük olması ile engellenebilir.	69
Şekil 5-22 Bağlama yüzeylerinin pürüzsüz olması.	70
Şekil 5-23 Kesici ucun erişilebileceği yüzey sınırlarına göre tasarım.	71
Şekil 5-24 Kesici ucun uç açısının parça tasarımında dikkate alınması	72
Şekil 5-25 Parça yüzeyi matkap eksenine dik olmalıdır.	73
Şekil 5-26 Matkap eksenini herhangi bir boşlukla karşılaşmamalıdır.	74
Şekil 5-27 Delik delme işlemlerinde delik dibinde boşluk bırakılmalıdır.	75
Şekil 5-28 Tek seferde çok derin deliklerden kaçınılmalıdır	76
Şekil 5-29 Referans yüzeyin tüm delikler için aynı seçilmesi	77
Şekil 5-30 Kartezyen koordinatlar açısal koordinatlara göre tercih edilir .	78
Şekil 5-31 Delik delmede işlenecek bölge etrafında yeterince boşluk bırakılması.	79
Şekil 5-32 Deliklerin kesişmesi olabildiğince engellenmelidir.	81
Şekil 5-33 Delik diplerinde yeterince boşluk bırakılmalıdır.	82
Şekil 5-34 Kademeli delikler delmek veya karbür kater kullanımı	83
Şekil 5-35 Delik işleme son işlem payı ve talaş boşluğu bırakılmalıdır.	83
Şekil 5-36 Özel formlar yerine standart kesici uç formlarının kullanımı	85
Şekil 5-37 Freze uçlarının standart ölçülerinin parçaya aktarılması.	86
Şekil 5-38 Parça üzerinde fonksiyonel açıdan gerekli yerlere odaklanması.	87
Şekil 5-39 Noktasal frezeleme	88
Şekil 5-40 özel formlu frezeler tercih edilmemelidir .	88
Şekil 5-41 Kademesiz geçiş işlem süresini ve maliyetleri arttıracaktır.	89
Şekil 5-42 Özel takımlandırmalar gerektiren formlardan kaçınılmalıdır.	90
Şekil 5-43 Aynı anda birden fazla parçanın işlenmesi.	92
Şekil 5-44 Büyük boyutlu kesici uçların kullanımı.	93
Şekil 5-45 Çapağın engellenmesi .	93
Şekil 5-46 Sadece gerekli bölgelerin işlenmesi maliyetleri düşürecektir.	94

Şekil 6-1 iyileştirme öncesi monaj grubu	95
Şekil 6-2 iyileştirme sonrası parça görünüşü	98
Şekil 6-3 İyileştirme öncesi montaj grubu	99
Şekil 6-4 Tasarımın alttan görünüşü	101
Şekil 6-5 Yeni tasarımın bağlama yüzeyleri	102

1 Giriş

Yapılan çalışmada hedef, yaratıcı yenilikçi problem çözüm tekniği olan TRIZ ile üretim için tasarım metodunun birleştirilerek, üretimde birbiri ile çakışan ve farklı tasarım özellikleri arasında dengeleme gerektiren durumlarda, problemin çözülmesi için bir metod geliştirmektir. Tasarım için üretim DFM, DFX denilen herhangi bir amaç için tasarım konusunun alt başlıklarından biridir. DFM tasarımcılara veya daha geniş bir çerçevede eş zamanlı mühendislik takımlarına üretilebilirliği en kolay ve düşük maliyetli olan tasarımın yapılabilmesi için öneriler sunar. DFM farklı üretim metotları için uzun yıllar yapılan araştırmalar ve edinilen tecrübelerle dayanarak oluşmuş bir tür öneri bankası şeklindedir. DFM metodu özellikle ürün tasarımı sürecinde oluşturulan eş zamanlı mühendislik grupları tarafından yürütülmektedir. Bu çalışmada özellikle tornalama, frezeleme, matkapla delme, delik işleme yöntemleri incelenmiştir. Bahsi geçen önerilerin toplanabilmesi için detaylı bir kaynak araştırması yapılmış, aynı zamanda sanayide çalışan çeşitli tasarımcılar ile görüşülmüş ve bir öneri havuzu oluşturulmuştur.

TRIZ ise Rus bilim adamı Genrich Altshuller tarafından çok sayıda patentin incelenmesinin ardından teknik sistemlerdeki çelişkilerin, yetersizliklerin temel fiziksel özellikler açısından ifade edilebildiği ve problemin çözülebilmesi için standart başlangıç noktaları öneren bir problem çözme metodudur. Bu yöntemde sistemlerdeki çelişkilerin keşfedilmesi ilk adım olarak kabul edilmektedir. Çelişkilerin tespitinin ardından, amaç sistemdeki gizli veya görünür kaynakları kullanarak ideal sonuca ulaşılmaktadır. TRIZ metodunda çelişkilerin ortadan kaldırılması ve ideal sonuca ulaşmak için bazı ek araçlar da bulunmaktadır. Bunlardan biri 40 prensip adı ile anılan, problem çözümünde başlangıç noktasının oluşturulmasına yardımcı olup, problem çözücü için kafasında ilk fikirlerin oluşmasını sağlayan temel çözüm önerileridir. Bir başka araç ise teknolojik sistemlerin temel özelliklerinin tespiti ve ardından da bir matris üzerine taşınması ile oluşturulmuş çelişkiler matrisidir. Bu matris sayesinde teknolojik sistemlerin çelişkileri yaratan özellikleri tespit edildikten sonra bu özelliklerin çelişmesi durumunda hangi prensibin kullanılabileceği kolayca bulunabilmektedir. Matriste soldan sağa doğru ve yukarıdan

aşağıya doğru özellikler sıralanmıştır. TRIZ metodundaki bu özelliklerin sayısı 39dur. Bu özellikler soldan sağa doğru ilerledikçe iyileşmekte, yukarıdan aşağıya doğru inildikçe ise bozulmaktadır. Çeliştiği tespit edilen bu iki özelliğin hangisinin iyileşmesi gerektiği hangisinde ise bir miktar taviz verileceği kararına göre iki özelliğin kesiştiği matris kutusunda ilgili prensip veya prensiplerin numaraları bulunmaktadır.

Yapılan tez çalışmasında özellikle DFM veritabanına ulaşımı sistematik bir hale getirmek için TRIZ metodunun 40 temel prensibi ve 39 fiziksel özelliği benzeri bir yapının DFM alanına uygulanması hedeflenmiştir. TRIZ metodundaki çelişkiler yerine talaşlı imalatla karşılaşılan temel problemler veya tasarımdan beklenen farklı özelliklerin arasındaki çelişkilerin çözümü hedeflenmiştir. Bu noktada bir literatür taraması ve imalat ile tasarım alanlarında çalışmakta olan tecrübeli uzmanlarla yapılan mülakatlar sonrasında toplanmış olan DFM önerileri olası çözüm önerileri olarak kabul edilmiştir. TRIZ metodunda bulunan teknik sistemlerin 39 temel özelliği yerine ise talaşlı imalat işlemlerinde işlemten beklenen, parçaların işlem sonrası ölçülerinin hedeflenen tolerans bandında olması, düşük maliyetle gerçekleşmesi, en kısa işlem süresine sahip olması vb. gibi taleplerinin gerçekleştirilmesi için talaşlı imalatla üretilecek parçaların temel tasarım özellikleri tanımlanmıştır. Parametrelerin tanımlanmasında çıkış noktası imalat proseslerinde ortaya çıkan problemlerin çözümünde başlangıç noktası olarak kullanılan 5 temel değişken olan makina, malzeme, metod, çalışan, çevre olmuştur. Odaklanılan konu talaşlı imalatla üretilecek parçaların tasarımı olduğu için temel özellik grupları tasarım, malzeme, maliyet, metod, makina olarak değiştirilmiştir. Ardından bu temel başlıkların altında toplam 35 adet temel özellik tanımlanmıştır. Tanımlanan bu özellikler bir matrise taşınmıştır. Satırlara ve sütunlara aynı sıra ile taşınan özelliklerin, kesişim noktaları olan matris kutuları iki özelliğin arasındaki ilişkiyi yansıtacak şekilde farklı renklerin ve kutuların içine çözüm önerilerinin numaralarının yerleştirilmesi ile görselleştirilmiştir. Kutuların çözüm önerileri ile doldurulmasında hem toplanmış olan çözüm önerilerinin her birinin hangi özelliklerin çelişmesini ortadan kaldırmak için kullanılabileceği, hemde matristeki temel özelliklerin çelişmesi durumunda hangi çözüm önerilerinin kullanılabileceği yaklaşımı izlenmiştir. Yapılan karşılaştırmalar sonucu ilişkiler tek taraflı ve iki taraflı olacak şekilde gruplanmış ardından bu iki grubunda altında aynı yönlü etki

veya zıt yönlü etki olacak şekilde alt gruplar oluşturulmuştur. Bu alt gruplar ise beyaz, mavi, sarı ve yeşil renklerle eşleştirilmiştir. Yerleştirilen öneri sayısında TRIZ metodunun kutu başına en fazla 4 olarak belirlediği gibi herhangi bir sınırlama kullanılmamıştır.

Tez çalışmasının 2. bölümünde TRIZ ve DFM metodları üzerine bir kaynak taraması yapılmış DFM ve TRIZ metodlarının çeşitli uygulamaları incelenmiş metodların mevcut gelişim trendi hakkında bilgi verilmiştir.

3. bölümünde DFM konusunda detaylı bilgi verilmiş, temel tasarım prensipleri tanıtılmış, imalat ve tasarımla ilgili belirleyici olan temel faktörlerden bahsedilmiş, konunun teorisinin yanında bir firmada pratik uygulamaya geçişi için yapılması gereken organizasyonel değişikliklerden, tasarımların DFM bakış açısı ile değerlendirilmesinden bahsedilmiştir. Özellikle eş zamanlı mühendislik takımları, tasarımın değerlendirilmesi konularına odaklanılmıştır.

4. bölümde TRIZ metoduna değinilmiş, TRIZ metodu ile bir problemin çözümünün nasıl gerçekleştirilebileceği adım adım incelenmiş, temel araçlardan bahsedilmiştir. Burada teknik sistemlerdeki gizli kaynakların kullanımı, çelişkilerin farkedilmesi, çelişkiler matrisinin yapısı ve kullanım yöntemi ve bu matris vasıtasıyla ulaşılan çözüm önerilerinden bahsedilmiştir.

5. bölümde DFM metodu göz önünde bulundurularak oluşturulan çelişkiler matrisinde bulunan temel talaşlı imalat özellikleri tanıtılmış, bu özellikler arasındaki ilişkiler sınıflandırılmış ve bu ilişkilerin matris üzerindeki gösterimleri açıklanmıştır. Tasarım ve çözüm önerileri, hangi temel fiziksel özelliklerin çelişmesi durumunda kullanılabilecekleri bilgisi ile birlikte listelenmiştir.

6. bölümde metodun imalat alanındaki iki uygulaması detaylı olarak anlatılmıştır. Bunlar sırasıyla PVC pencere profillerinin birbirlerine kaynakları sonrasında oluşan çapakların temizlenmesi amacıyla kullanılan frezeleme tezgahının baskı papuclarını taşıyan montaj grubu parçalarının optimizasyonu ve PVC profillerin 45 derecelik açılarla kesilmesini sağlayan çift motorlu bir hızar makinasının motor montaj kaidesinin optimizasyonudur. yapılan tez çalışmasının sonuçları aktarılmış ve metodun uzun vadeli geliştirilmesi amaçlı atılabilecek adımlar tartışılmıştır.

2 Kaynak araştırması

DFM konusu özellikle talaşlı imalat ve elektronik devre tasarımı alanında geniş uygulama imkanı bulduğu için yapılan çalışmalarda bu alanda yoğunlaşmıştır. Ayrıca DFM birçok kez DFX başlığı altında diğer X hedefleri ile birarada ele alınmıştır. Çalışmalar kronolojik olarak;

Gupta ve Nau (1994) çalışmalarında bir tasarımın üretilebilmesi için kullanılabilecek talaş kaldırma işlemlerinden hangisinin veya hangilerinin seçiminin uygun olduğu üzerine yorumlar getirilmiştir.

Maly ve ark. (1996) mikron altı düzeylerde klasik tasarım önerilerinin yavaş yavaş geçerliliğini kaybettiğinden bahsetmiş, tasarım değerlendirme sistemlerindeki son trendler ve bu trendleri değerlendirebilmek için kar ve maliyet modellerinden yararlanmıştır.

Gupta ve ark. (1999) çalışmalarında tasarımın özellikle üretilebilirlik bakış açısı ile değerlendirilmesi için mevcut olan farklı sistemleri incelemişler ve bir sınıflandırma çalışması yapmışlardır. Son olarak bu sistemlerin tarihsel gelişimi hakkında bir özetleme yapmışlardır.

Gupta ve Nau (1994) çalışmalarında bir tasarımın üretilebilmesi için kullanılabilecek talaş kaldırma işlemlerinden hangisinin veya hangilerinin seçiminin uygun olduğu üzerine yorumlar getirilmiştir.

Murdock ve ark. (1997) yaptıkları çalışma ile tasarım elementlerinin sadece geometrik açıdan değil, fonksiyonel ve hareket tarzı açısından incelendiği bir veri altyapısı oluşturulması üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarını bir el matkabının tasarımında böyle bir sistemin hayata geçirilmesi ile pratik uygulama imkanında ortaya koymuşlardır.

Lin ve ark. (1995) yaptıkları çalışmada sanal bir talaşlı imalat ortamı yaratmışlar. Bu ortamda CAD datalarından hareketle üretilmesi planlanan parçaların sadece fonksiyonlarını yerine getirmeleri açısından değil aynı zamanda üretilebilirlik açısından optimizasyonu yapılmıştır.

Gupta ve ark. (1995) yaptıkları çalışmada parça tasarımı sürecinde sürenin kısaltılabilmesi amaçlı farklı tasarım alternatiflerinin otomatik olarak üretildiği bir yaklaşım geliştirmişlerdir

De Feo ve Bar-El (2002) yazdıkları makalede DFX lerden biri olan Design for Six Sigma ve TRIZ metodunun ortaklaşa kullanımı sayesinde yaratıcı-yenilikçi ürün tasarımı ve bu ürünlerin de 6 Sigma düzeyinde hata düzeyine sahip olması konusunu incelemişlerdir.

Balasubramanian ve Norrie (1995) makalelerinde çok temsilcili bir akıllı tasarım sistemin bir üretim yönetim sistemi ile bütünleştirilmesi üzerine yaptıkları çalışmalarını anlatmışlardır. Temsilci olarak anılan mantık yapıları, tasarımın tasarım, geometri, fonksiyon, parça, makina, takım gibi özellikleri hakkında kararlar veren ve birbirleri ile optimum yapıya erişmek için iletişim kuran yapılardır.

Elinson ve ark. (2000) katı modellerin üretilebilirlikleri üzerine yaptıkları çalışmada bir tasarım ve üretim planı veri bankasında tasarımların birbirleri ile karşılaştırılmalarını sağlayacak bir benzerlik indeksi geliştirilmesi üzerine odaklanmışlardır.

Goel ve Singh (1998) makalelerinde dayanıklı ürün tasarımı için yaratıcı-yenilikçi yaklaşımları incelemişlerdir bunların arasında TRIZ da bulunmaktadır.

Jugulum ve Şefik (1998) yaptıkları çalışmada kuruluşların sağlam bir üretim stratejisi geliştirebilmeleri için TQM prensiplerinin QPD, QFD, SPC, TRIZ ve Tagucci metotları ile harmanlanması gerektiğini vurgulamışlardır.

Mann ve Dewulf makalelerinde TRIZ metodunun gelişiminin sürdürülmesi için dünya çapında patent veritabanının incelenmesi, çelişkiler matrisinin gözden geçirilmesi, gelişim desenlerinin ve diğer araçların iyileştirilmesi için yürütülen programdan bahsetmiş, TRIZ'ın QFD, DFMA, Değer Mühendisliği, Güçlü Tasarım gibi metotlarla entegrasyonundan bahsetmişlerdir.

3 DFM

3.1 Üretilebilirlik için genel tasarım prensipleri

Neredeyse tüm üretim süreçlerine uygulanabilen aşağıdaki prensipler, tasarımcılara en düşük maliyetle üretilebilen ürün ve alt parçalarının belirlenmesinde yardımcı olmaktadır.

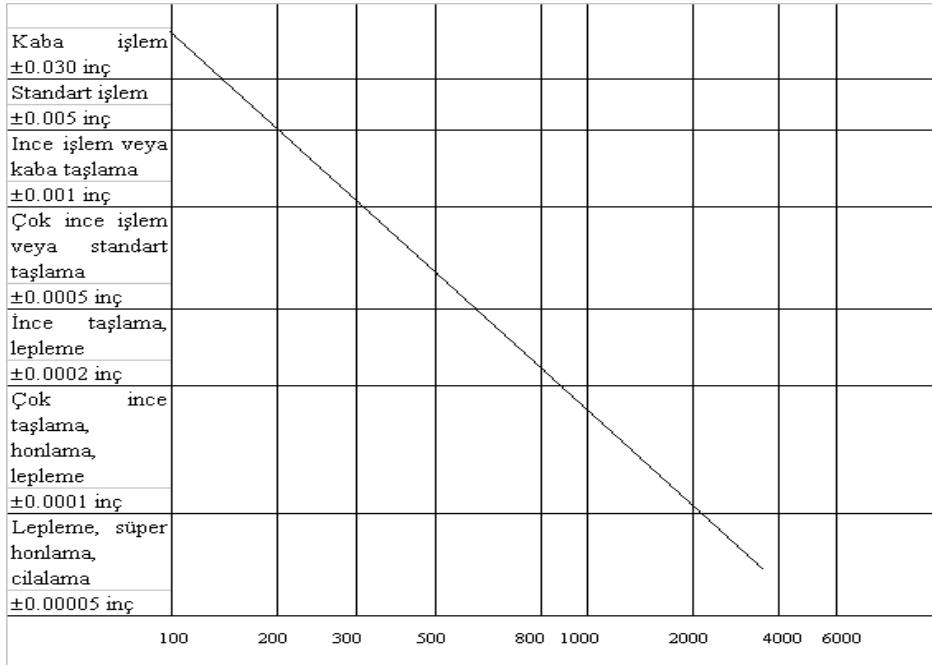
Basitlik: Diğer faktörlerin aynı olması kaydıyla, en az parçaya sahip olan, girinti ve çıkıntıları en az olan, hassas ayar gerektirmeyen ve en kısa üretim süresine sahip olan ürün en düşük maliyetle üretilecektir. Ayrıca en güvenilir ve bakımı en kolay ürün olacaktır.

Standart malzeme ve parçalar: Kolayca bulunan malzeme ve parçalar düşük üretim hacminde bile seri üretimin avantajlarına imkan tanır. Bu şekildeki standart parçaların kullanımı stok yönetim ve satın almayı kolaylaştırırken, ekipman yatırımını azaltır ve üretim çevrimini hızlandırır.

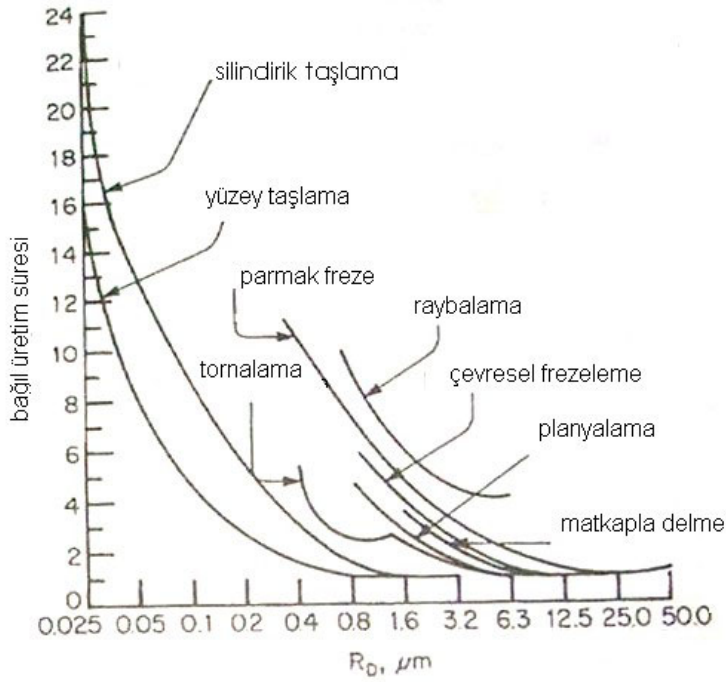
Standart ürün tasarımı: Çok sayıda benzer ürünün üretilmesi durumunda, her bir ürün için mümkünse aynı malzeme, parça ve alt montaj grupları tanımlanmalıdır. Bu metod alt montaj gruplarında ölçek ekonomisi sağlarken, süreç kontrolünü ve operatör eğitimini basitleştirir, gerekli ekipman yatırımlarını azaltır.

Geniş toleranslar: Çok dar toleranslarla yapılan üretimin getirdiği ek maliyet her ne kadar bilinse de, ürün tasarımcıları çoğu zaman bu gerçeğin farkında olmamaktadırlar. (şekil 3-1, şekil 3-2) Dar toleranslarla üretim yapmanın getirdiği yüksek maliyet şu faktörlerden kaynaklanmaktadır;

- Birincil işlemlerden sonraki taşlama, honlama, lepleme gibi ek işlemler
- Takımlar aşındıkça artan bakım maliyetleri
- Uzun işlem çevrimleri
- Yüksek ek iş ve ıskarta maliyetleri
- Yüksek düzeyde eğitilmiş ve yetenekli çalışan ihtiyacı
- Yüksek malzeme maliyetleri,
- Hassas ekipman için yüksek yatırım maliyetleri



Şekil 3.1. Tolerans genişliği maliyet ilişkisi



Şekil 3.2. Yüzey pürüzlülüğü – üretim süresi ilişkisi

İyi işlenebilir malzeme kullanımı : Fonksiyonel özellikleri ve maliyeti uygun olduğu sürece mevcut olan en kolay işlenebilir malzeme kullanılmalıdır. Sıradan malzeme türleri ile kolay üretilebilirlik için geliştirilmiş olanlar arasında işlenebilirlik açısından önemli farklar vardır (çevrim zamanı, optimum kesme hızı, akışkanlık vb.) . Fakat uzun vadede en ekonomik malzeme en düşük hammadde, işleme, garanti ve servis maliyeti gerektirendir.

Üretim personeli ile takım çalışması : En iyi üretilebilir tasarımlar tasarımcı ile üretim çalışanlarının bir takım olarak çalıştığı durumlarda ortaya çıkar.

İkincil işlemlerden kaçınma : Her işlemin maliyeti en başta dikkate alınmalı ve ürün basitleşecek şekilde tasarlanmalıdır. Çapak alma, kontrol, kaplama ve boyama, ısıtma işlemi, malzeme işleme gibi işlemler birincil (ana üretim işlemleri) kadar maliyetli olabilmektedir. Dolayısıyla ürün henüz tasarım aşamasında iken, bu durum dikkate alınmalıdır. Örneğin; sağlam, net olarak belirlenmiş ölçüm noktaları belirlenmelidir. Taşımak için özel koruyucu taşıyıcılar gerektiren tasarımlardan kaçınılmalıdır.

Beklenen üretim adetlerine uygun tasarım : Ürün tasarımı, üretim adeti tahmini için ekonomik olan bir üretim metoduna uygun olmalıdır. Örneğin, bir ürünün üretim adedi kalıp maliyetini amorti edemeyecek kadar düşükse, bu ürün için ince cidarlı döküm kalıbı tasarımı yapılmamalıdır. Veya tam tersine kitlesel üretimin yapılacağı durumlarda kum kalıp kullanımı, metal kalıp kullanımının getireceği maliyet ve işgücü avantajını kaybettirecektir.

Özel proses karakteristiklerinden yararlanma: Deneyimli tasarımcılar üretim süreçlerinin güçlü yanlarını ürün tasarımına yansıtmayı öğrenecek ve bunların sağladığı avantajları kullanacaklardır. Örneğin, enjeksiyon kalıplı plastik parçaların, parça kalıptan çıkarılırken renklendirilebilmesi ve desenlendirilebilmesi, toz metal parçaların yağlayıcı özelliğinin kaybolmasını engelleyen gözenekli bir yapıya sahip olduğunu bu sayede fazladan burç ihtiyacını ortadan kaldırması vb. Bu özellikler bir çok üretim adımını ve maliyetli alt montaj parçalarına olan ihtiyacı ortadan kaldırır.

Sürecin sınırlayıcılığından kaçınmak: Parça resminde sadece ihtiyaç duyulan son karakteristikler belirtilmektedir. Ancak izlenecek süreç konusunda bir bilgi veya zorlama yoktur. İmalat mühendislerine gereksinim duyulan karakteristik ve boyutlarda üretim yapılmasına imkan tanıyacak süreci seçme konusunda izin verilmelidir.

3.2 Genel tasarım kuralları

Tasarım sürekli olarak basitleştirilmelidir. İhtiyaç duyulan parça sayısı azaltılmalıdır. Bu, parçaları birleştirme veya bir parçayı birçok fonksiyonu yerine getirecek şekilde tasarlayarak sağlanabilir.

Düşük işçilik maliyeti olan işlemleri için tasarım yapılmalıdır. Örneğin, Preslerde delik delme işlemi, matkapla delik delme işleminden daha hızlı yapılmaktadır. Otomatik çapak alma manuel çapak almaktan daha az işçilik gerektirir.

Teknik resimlerde üretim elemanlarının anlaşılmasını zorlaştıracak genelleştirilmiş tanımlardan kaçınılmalıdır. Örneğin;

- Bu yüzeyi cilalayın/parlatın
- Köşeler yuvarlak olmalıdır.
- Matkap/alet çizikleri yapmayın
- Montajda işçilik kalitesi yüksek olmalıdır vb.

tanımlamaları çok daha spesifik olmalıdır.

Parça ölçüleri boşluklardan değil de; mümkün olduğunca parçanın belirli yüzeyleri veya köşelerinden verilmelidir. Bu durum ölçü vermeyi kolaylaştırırken, boyutsal hatalar da önlenmiş olur. İşleme ve ölçülendirmeyi kolaylaştırmak amacıyla tüm ölçüler bir tek kenardan referans alınmalıdır.

Fonksiyonel gereklilikler bir kez sağlandığında, parça ne kadar hafif olursa, maliyeti de o kadar azalacaktır. Tasarımcılar dayanıklılığın yanında en az ağırlık için de çalışmalıdır. Malzeme maliyetindeki bir azalma genellikle işçilik ve üretim maliyetlerini de azaltmaktadır.

Mümkünse genel amaçlı takımların kullanımı tasarlanmalıdır. İyi ekipmana sahip bir üretim alanı çok farklı parçaların üretimine imkan tanıyacaktır. İşçilik ve malzeme maliyetlerinin amorti edilmesini sağlayacak kadar yüksek adetli üretim için özel takımlar kullanılabilse de, daha çok genel amaçlı, standart takımlar tercih edilmelidir.

Sivri köşelerden kaçınılmalıdır. Bu kalıpcılık ve makine parçası üretimindeki en çok bilinen kurallardan biridir. Yuvarlatılmış köşelerin pek çok avantajı vardır. Yuvarlatılmış

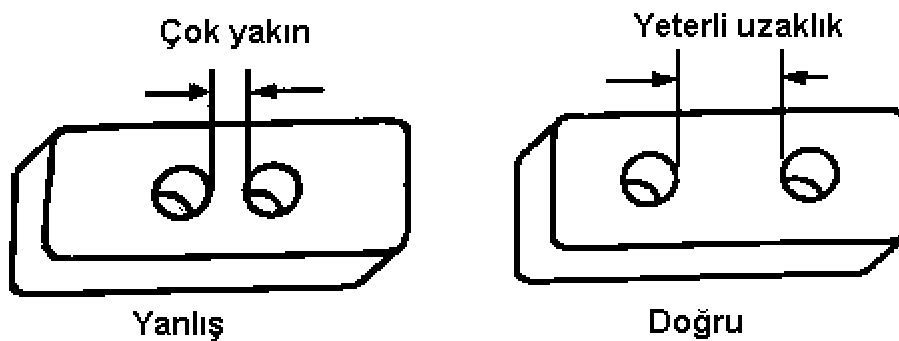
köşeler sayesinde hem parçada, hem de takımda daha az gerilim yoğunlaşması oluşur. Üretim sırasında malzeme daha iyi akar, daha az işlem adımı olması muhtemeldir ve ıskarta oranı da düşük olacaktır. Keskin köşe olmamalı kuralının istisnaları da mevcuttur. Kesişen iki makine yüzeyi keskin bir köşe oluşturur ve bunu önlemeye çalışmanın hiçbir faydası yoktur. Kalıpla şekillendirilen toz metal parçanın köşeleri de sivri olacaktır. Ancak diğer köşelere radius verilebilir ve yuvarlatılması tercih edilir.

Bir parça ard arda gelen işlem adımlarının tümünden sonra tekrar pozisyonlamayı gerektirmeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu durum işlem sayısını azaltırken, işlem akışını da kolaylaştırmaktadır.

Döküm veya toz metalürjisi ile üretilen parçalar kalıp veya döküm izlerini azaltacak şekilde tasarlanmalıdır. Fakat bu durum kalıp karmaşıklığı ve maliyetini artırır.

Tüm döküm ve kalıp süreçlerinde parçaların et kalınlıkları aynı olacak şekilde tasarlanmalıdır. Yüksek oranda fire veren malzemelerde (alüminyum, plastik vb.) bu ihtiyaç daha da fazladır.

Makine ile işlenen, basılan veya kalıpla üretilen parçalarda delikler arasında yeterince boşluk bırakılmalıdır. Bu sayede parça tek seferde üretilebilir ve işlem nedeniyle malzemede zayıflık oluşmaz. Birçok süreçte deliklerin birbirine çok yakın olması malzemenin dayanımını, kalıplardaki malzeme akışını veya çoklu ayna kullanımını zorlaştırmaktadır (Şekil 3-3).



Şekil 3.3 Delikler arası yeterli boşluk bırakılması (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

3.3 Tasarım mühendisinin sorumlulukları

Tasarım mühendisinin sorumlulukları tüm tasarım sürecini kapsamaktadır. Fonksiyonel açıdan uygun tasarım en önemli görevi olmakla beraber, bir tasarım fonksiyonel olup kolay üretilmiyorsa veya fonksiyonel fakat yeterli sağlamlıkta değilse veya güzel bir görünüme sahip ve yine yeterli sağlamlıkta değilse başarısız bir tasarımdır. Tasarım mühendisleri bir tasarım yaparken tasarımın fonksiyonellik, sağlamlık, dış görünüm, maliyet alanındaki hedeflerin yakalanması açısından geniş bir sorumluluğa sahiptir. Tasarım mühendisleri her bir parçanın nasıl üretileceğini gözlerinde canlandırmalıdır. Bunu yapmadıkları takdirde tasarımları yeterli düzeyde, ve hatta üretim açısından makul olmayabilir.

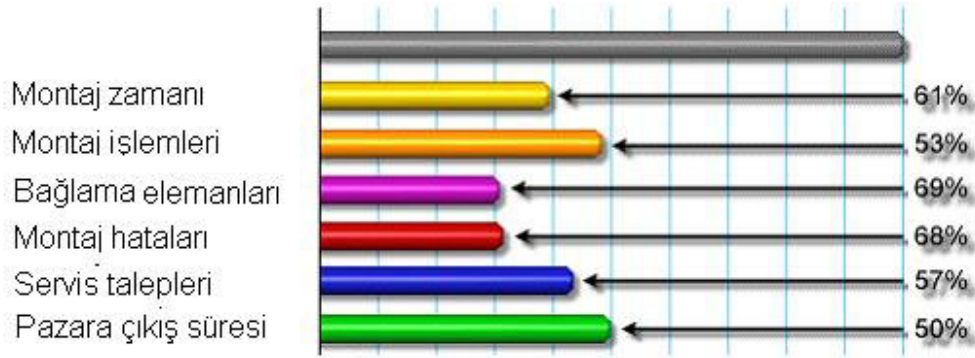
3.4 Üretim mühendislerinin sorumlulukları

Üretim mühendisleri iki tip sorumluluğa sahiptir. Öncelikle takımları, üretim ekipmanını, işlem adımlarını ve ürünün ortaya çıkabilmesi için gereken diğer tüm teknik gereklilikleri sağlamaktır. İkincil olarak ise üretim organizasyonuna üretilmesi için verilen tasarımın üretilbilirlik açısından yeterli düzeyde olmasının sağlanmasıdır. İyi çalışan bir tasarım-üretim organizasyonunda bir takım yaklaşımı kullanılmakta, üretim ve tasarım mühendisliği bir arada çalışarak en iyi üretilbilirliği sağlamaktadır.

Üretim mühendisinin görevleri arasında üretim maliyetini düşürmek özel olarak vurgulanması gereken bir noktadır. Üretim mühendisleri, endüstri mühendisleri ve üretimle ilgili tüm çalışanlar üretim süreçlerinin başlangıcından itibaren sürekli olarak üretim maliyetini yükselten unsurların ortadan kaldırılması için çalışmışlardır. Bu çalışmalara büyük kaynaklar ayrılmıştır. Fakat görülmüştür ki en büyük kazanç tasarımın üretim maliyetlerini düşürecek şekilde yapılması ile elde edilebilmektedir.

3.4.1 Maliyet faktörleri

Bir parçanın veya ürünün üretimi için alternatif metotları, bir işlemi veya işlemler bütününe analiz ederken tasarım mühendisleri, üretim mühendisleri ve endüstri mühendisleri maliyet değişkenleri ile karşılaşır. Bu değişkenler malzeme, doğrudan işçilik, dolaylı işçilik, özel takımlandırma, çabuk biten kaynaklar veya takımlar ve yatırılan anaparadır. İşte bu yüzden tüm bu değişkenlerin detaylı olarak araştırılması ve etkilerinin ortaya konulması gerekmektedir (Şekil 3-4).



Şekil 3.4 DFM metodunun kullanımı ile elde edilen kazançlar. (<http://www.design-iv.com/gettingstarted.htm>)

3.4.1.1 Malzeme:

Birbirleriyle karşılaştırılan farklı üretim metodları çeşitli malzemelerin farklı miktarlarda ve formlarda kullanımını gerektiriyorsa, birim malzeme maliyeti büyük önem taşır. Örneğin bir alüminyum döküm parçanın maliyeti, kum kalıba dökülen dökme demir bir parçadan yüksek olacaktır. Bir mühendislik plastiği kullanımı daha da yüksek bir maliyete sahip olabilir. Toz metalurjisi ile üretim süreçlerinde döküm veya talaş kaldırma işlemlerine göre daha düşük miktarlarda fakat daha yüksek maliyetli malzemeler kullanır. Ayrıca hata maliyetleri malzeme maliyetlerini ciddi oranda etkileyebilir.

3.4.1.2 Direkt işçilik:

Direkt işçilik maliyetleri genel olarak üç faktör tarafından belirlenir; üretim sürecinin kendisi, parça veya ürünün tasarımı ve işi yapan çalışanın verimliliği. Genel anlamda

tasarım karmaşıktıkça boyutsal toleranslar darlaşır, son işlemlerin talepleri artar. Kullanılan takım sayısının azalması da direkt işçilik miktarını arttırır.

Bir parçayı tamamlayabilmek için gereken işlem adımları işçilik maliyetinin belirlenmesinde muhtemelen tek başına bile kullanılabilecek bir belirleyici faktördür. Her işlem adımı operatörün işlenmemiş parçayı bulunduğu yerden alması, tezgaha yerleştirilmesi, konumlaması, işlem bittikten sonra parçanın sökülmesi ve işlenmiş parçalar arasına konması ve genellikle de işlem sonunda bir kontrol yapılması gerekmektedir. İşlem adımı sayısının artışı indirekt maliyetleri de arttırır. Birçok farklı konumlama yüzeyi nedeniyle boyutsal hata olasılığı toplanarak artar. Daha fazla ayar gerekir, hurda ve ek iş artar, atölyenin planlanması giderek zorlaşır.

Düşük işçilik maliyetli işlemler genel olarak; pres kesim, derin çekme, döküm, enjeksiyonla döküm, tek ayna – çok ayna otomat tezgahlar, nümerik-bilgisayar kontrollü delik delme, ek işlemlerin bir veya iki adıma indirildiği özel amaçlı talaş kaldırma, ve paketleme işlemleridir. Bahsi geçen bu makinelerin yarı otomatik ve otomatik modelleri operatörlere bir çok makinanın kontrolünün verilmesine fırsat tanımaktadır. Böylece makina zamanı içinde başka işlemler yapılabilir.

3.4.1.3 İndirekt işçilik:

Ayarlama, kontrol, malzeme taşıma ve saklama, takım bileme ve tamirâtı, makina ve ekipman bakımı alternatif üretim metodlarının maliyetinin hesaplanmasında değerlendirilmesi gereken önemli etkenlerdir. Yüksek basınçlı dövmenin avantajları dövme kalıbının yüksek bakım maliyetleri nedeniyle kısmen kaybolmaktadır. Örneğin bazı durumlarda ayarlama maliyetlerinin daha düşük olduğu bir üretim metodu nisbeten yüksek işçilik maliyetlerine tercih edilebilmektedir. Yılda 200-300 civarında vida açma tipi bir işlemin yapılması bir torna tezgahında otomatik bir vida açma makinesine göre daha düşük maliyetle yapılabilir.

3.4.1.4 Özel takımlandırma:

Özel bağlama aparatları, kalıplar, ölçüm ve test cihazları yeni parçalar ürünler veya mevcut parçalardaki köklü değişiklikler söz konusu olduğunda önemli bir maliyet

faktörüdür. Maliyetle ilgili yapılacak karşılaştırmalarda birim parça başına takım maliyeti de dikkate alınmalıdır. Bunun nedeni ömrün tamamlanması veya yapı değişikliği ile sınırlandırılmış olan birim takım maliyetinin, üretim miktarlarına yakından bağlı olmasıdır. Yüksek üretim hacimlerine sahip ürünlerde takım maliyetine yapılan yatırım, işçilik maliyetlerindeki düşüşle dengelenebilir. Buradaki kazanç birim başına takım maliyetinin çok düşük olmasıdır. Düşük üretim miktarlarında ise ortalama takımlandırma maliyetleri bile parça başına düşen takımlandırma maliyetini yükseltebilir.

Takımlandırma maliyetini üretimin ilk 3 yılında çıkarmak genel bir kural halindedir. Rekabet ve yapılan ilerlemeler bu süre içinde ürün tasarımı ile üretim metodlarında iyileşmeler talep etmektedir. Tasarlanmış ürünlerde bu periyot 1-2 yıla kadar indirilebilir.

3.4.1.5 Sarf hızı yüksek takım ve diğer kaynaklar:

Birçok maliyet hesaplama yönteminde; kullan-at kesici uçlar, taşlama taşları, eğeler, matkap uçları, raybalar ve zımpara kağıdı, çözücüler, yağlayıcılar, temizlik sıvıları, tuzlar, tozlar, eldivenler ve koruyucu giysiler masraf yerlerinin direkt işçilik kalemlerine aktarılır. Fakat üretim adımlarında bu kaynakların kullanım oranları arasında ciddi farklılıklar olabilir. Eğer durum böyleyse birim maliyet karşılaştırmalarında bu malzemelerin direkt maliyeti de bulunmalıdır. Boyama, kaynak, aşındırıcı kayışla işleme gibi işlemler yüksek sarf malzemesi maliyeti olan örneklerdir. Kesme işlemlerinde, her kesim için kesici takım maliyetini dikkate almak karşılaştırmalar yapılırken daha doğru olacaktır. Diğer talaş kaldırma işlemlerinde de kesici takımlar parça başı maliyetin önemli bir kısmını oluşturacaktır. Jet motoru parçalarında profil frezeleme işlemlerinde sert metal malzemeleri işlemek için kullanılan karbür freze kesici uçlarının yüksek maliyeti ve kısa ömrü parça başı maliyetlerde büyük artış yaratmaktadır. Burada sert metal ile bahsi geçen malzemeler, Inconel, süper alaşım çelikler ve refraktör-metal alaşımlarıdır.

3.4.1.6 Üretime verilen hizmetler:

Kullanılan sarf malzemeleri gibi elektrik enerjisi, gaz, buhar, soğutma, ısıtma, su ve basınçlı havanın da farklı üretim metotları ve ekipmanlarının karşılaştırılmasında (eğer kullanım oranları farklılıklar gösteriyorsa) özellikle dikkate alınması gerekir. Örneğin

döküm yapmak için kullanılan elektrik ark fırınlarının elektrik enerjisi tüketimi önemli bir maliyet unsuru olmaktadır. Hava ile çalışan bazı transfer cihazları, basınçlı hava tüketimini ilave bir kompresör gerektirecek kadar arttırabilirler.

3.4.1.7 Yatırılan anapara:

Bir firma için hazır olan bir üretim sisteminin veya mevcut olan üretim tesislerinin uzantılarının kullanılması firmalar için açıkça daha az riskli ve daha kolay olacaktır. Yeni bir ürüne ek olarak yapılan yatırım, mevcut proseslerin kapasiteleri kullanılarak en düşük düzeye indirilebilir. Bu yüzden diğer alternatifler için gereken yatırım miktarı kadar tesis, makina, ekipman ve destek hizmetlerinin varlığı da dikkate alınmalıdır. Eğer yeterli üretken kapasite mevcutsa, yeni bir parçanın mevcut proseslerle üretiminin başlamasında temel malzemeler için herhangi bir yatırıma gerek olmayacaktır. Benzer şekilde güvenilir yan sanayiler olması durumunda üretimin buralara kaydırılması bir seçenek olabilir. Bu durumda büyük yatırım harcamaları tedarikçiler tarafından karşılanır ve böylece maliyet değerlendirmesinde göz önünde bulundurulması gerekmez. Bu maliyetler muhtemelen tedarikçilerle yapılan anlaşmalarda fiyatlara yansıtılacaktır.

Diğer bir yanda, tek bir parçanın imalatı sadece ek üretim ekipmanı değil, aynı zamanda üretim alanı, destek tesisleri ve muhtemelen yeni arazi satın alınmasını da beraberinde gerektirecektir. Bu sonuç, tesisin neredeyse tüm parçalar için ekipman ve alan açısından üst kapasiteye yakın çalışması veya mevcut kaynakların ürünü düşük maliyetle üretmeye uygun olmadığı durumlarda ortaya çıkacaktır. Ana ekipman maliyetinin üretim prosesinin seçimine bağlı olduğu durumda, birim maliyet hesabı yapılırken ana ekipman maliyetinin her bir ürüne, ömür ve üretim miktarı dikkate alınarak paylaştırılması gerekmektedir.

Örneğin;

CNC torna tezgahı 100.000 YTL ye satılmaktadır ve tahmini ömrü 15 senedir.

Yılda vardiyada ortalama 2000 saat olacak şekilde 3 vardiya çalışabilir.

Ortalama olarak saatte 100 parça işlediği kabul edilebilir.

Burada %100 lük bir performans yerine, arızalar, bakımlar ve ayarlamalarla geçen zamandan dolayı %80 lik bir performans tahmini yapılabilir.

Bu hesaplama sonucunda

$$100000/(15*2000*3*100*0.8)=0.013\text{YTL}$$

parça başı ana yatırım maliyeti ortaya çıkacaktır.

Yapılan bu tahmin makinanın sadece hesaplanan parça için veya başka bir parça için kullanılacağını dikkate almaktadır. Ayrıca makinanın finansmanının getireceği faiz maliyetleri de bu hesaplama içinde yer almamaktadır. Bu tür bir hesaplama alternatif proseslerin değerlendirilmesinde temel oluşturur ayrıca yatırım tamamlandıktan sonra doğrulama amaçlı yapılabilecek analizden de daha kolaydır.

3.4.1.8 Diğer faktörler :

Bazen proseslerdeki bir veya birkaç özel karakteristik birim maliyetin hesaplanmasında aksamalara neden olabilir. Örnek olarak paketleme, taşıma, servis, planlanmamış bakım, yeniden işlem ve hurda maliyetleri bu gruba girer. Bu noktada vurgulanması gereken konu; alternatifler arasındaki tüm bu temel farklılıkları dikkate almak ve birim maliyet hesaplarında bunlar içinde gerekli kaynağı ayırmaktır. Unutulmamalıdır ki burada amaç verilen şartlar altında en ekonomik prosesin tespit edilmesidir.

Farklı alternatiflerin birim maliyetlerinin değerlendirilmesinde sadece farklı alternatiflerde değişen etkenlerin hesaba katılması uygun olacaktır. Malzeme gibi tüm alternatiflerde aynı olan bir etkenin değerlendirmede dikkate alınmasına gerek yoktur. Benzer prosesler için kullanılan üretim ekipmanlarında kapasite fazlası olduğu durumda alternatifler arasındaki seçim kolayca belli olmaktadır. Bu durum özellikle yeni ürünün üretim miktarlarının düşük olduğu durumlarda geçerli olmaktadır. Mevcut kapasiteyi kullanma fırsatı diğer alternatiflerin seçilme şansını oldukça azaltmaktadır.

3.5 DFM metodunun firma içinde yayılım

3.5.1 Yönetimin rolü

DFM için takım odaklı, uyumlu bir mühendislik yaklaşımının uygulanabilmesi için yönetimin güçlü desteği temel gerekliliktir. Firmaların ürün tasarım kadroları ve üretim kadroları DFM projesinde sadece başarılı bir çalışma gerçekleştirmemeli, aynı zamanda belirli bir dereceye kadar amaçlarını ve görevlerini çakıştırmalı ve birleştirmelidir. Ortak mühendislik takımlarının kurulmasının ardından, yönetimin görevleri şöyledir;

- Takımın görevlerinin, hedeflerinin ve çalışmanın sınırlarının belirlenmesi,
- Takım üyelerinin bir takım olarak çalışmasının sağlanması,
- Takım üyelerinin ve yöneticilerinin kuşkularının ve endişelerinin önlenmesi,
- Üretken bir işbirliğinin sağlanmasıdır.

Yönetim aynı zamanda değişime karşı bir direnmenin de olacağını öngörmelidir. Görevler ve sorumluluklar değiştiğinde çalışanların güvende olma duygusu da etkilenir.

3.5.2 Planlı ilerleme

Ürün tasarımı konusunda bir takım yaklaşımı sergileyebilmek açısından firmaların aşağıdaki akışa göre hareket etmeleri tavsiye edilmektedir.

- Kullanılacak yöntemin, gerçekleştirilecek yapılanmanın, faydaların ve maliyetin kapsandığı bir özetin üst yönetime sunulması.
- Bir pilot programın seçilmesi,
- Eş zamanlı mühendislik koordinatörünün atanması.
- İcra kurulu üyelerinin eş zamanlı desteği ile değişen prosedürlerin hedeflerinin tanımlanması ve dikkatli bir şekilde duyurulması,
- Yönetimin takımın hedeflerini net bir şekilde tanımlaması önemlidir.
- Pilot programı yürütecek bir takım yapılandırılmalı ve atanmalıdır.
- Projede görev alacak önemli kişiler eğitilmelidir
- Pilot proje yürütülmelidir.

- Yönetim yürütülmekte olan çalışmaları takip etmelidir.
- Pilot projenin sonunda icra kurulu başkanı sonuçları firma çalışanlarına kendi yorumları ile birlikte açıklamalı, ilan etmelidir.

3.5.3 Tasarım çalışmalarının yönlendirilmesi

Tasarım mühendisinin bu aşamada önündeki en büyük engel kendisinin bir çok alanda uzman olmasının beklenmesidir. Tasarım mühendisinden genel olarak beklenen konuların – yeni ürün özellikleri, uygun fonksiyonalite ve kalite- yanında DFM ile birlikte şimdi birde üretilebilirliğin sağlanması beklenmektedir. DFX (tüm istenen özellikler için tasarım) gereken becerilerin ve bilgilerin kapsamını daha da ileriye götürmektedir. Birçok tasarımcı için bunun anlamı diğer alanlara temelden bir yönelim ve odaklanmadır. Artık sadece görevini yerine getiren ve istenen özelliklere sahip bir ürün üretmek yeterli olmamaktadır. Eş zamanlı mühendisliğin doğasında olan takım çalışması birçok firma için ürün gerçekleştirme sürecinin şimdi olmadığı gibi geçmişte de bir parçası olmamıştır. Aşağıdaki 4 madde olası etkileşimleri açıklamaktadır.

Klasik yaklaşım “duvarın ötesi”: Tasarımcılar ve üretim mühendisleri tasarımla ilgili olarak iletişim içinde bulunmazlar. Tasarım dokümanları üretime, üretim mühendislerinin herhangi bir ön gözden geçirmesi olmadan verilir.

İyileştirme : Üretim mühendisleri tasarımı üretim için serbest bırakılmadan önce fakat tasarımın tamamlanmasından sonra kabul eder ve onaylarlar.

İleri düzeyde iyileştirme : Tasarımın ortaya çıkışı sırasında tasarımcı ve üretim mühendisleri arasında bir işbirliği mevcuttur

Mevcut yaklaşım : Tamamen eş zamanlı mühendislik. Tasarımcılar ve üretim mühendisleri tasarımla ilgili olarak bir arada çalışırlar.

3.5.4 Takım

Takımda bulunması önem taşıyan tasarım ve üretim mühendisine ek olarak doğru yapılandırılmış bir takım içerisinde önemli diğer fonksiyonlardan da üyeler

bulundurmalıdır. En uygun üyeler; satın alma ve kilit tedarikçiler, emniyet mühendisliği, dayanıklılık mühendisliği, kalite kontrol, üretim hattı organizasyonu sorumluları, ürün servisi, çevre mühendisleri, üretim planlama ve kontrol ve ürün yönetimini içermektedir . Böyle oluşumlara fonksiyonlar arası tasarım takımları denmektedir.

Satın alma çalışanları satın alınan parçalar önemli bir faktör olduğu sürece sürekli olarak toplantılara katılmalıdır. Tedarikçiden sağlanan parçalar tasarım veya maliyet açısından kritik ise bazı önemli tedarikçiler toplantıya çağırılmalıdır.

Ürün yöneticisi toplantılara sık sık katılan önemli bir katılımcıdır. Kendisi pazar ve firmanın satış gücü ile ilgili önemli bilgiler aktarır. Öyle ki ürün müdürü, ürün tasarımının başarılı olabilmesi için dikkate alınması hayati olan müşterinin bakış açısını temsil etmektedir.

Eş zamanlı DFM uygulamasının ilk denemesi için en iyi – en yetenekli, en motive çalışanlar seçilmelidir. Başlangıçtaki takım üyeleri sadece iyi çalışanlar değil aynı zamanda kendi gruplarında saygı duyulan, takım yaklaşımının yararlarını grup içinde yayma yeteneği olan kişiler olmalıdır.

Önemli kararlardan biri de eş zamanlı mühendislik takımlarının görev ve sorumluluklarıdır. Takımın görevi sadece önceden tanımlanmış özelliklere göre ürünü tasarlamak mıdır, yoksa takım daha uzun soluklu bir yapıya mı sahip olmalıdır. Ürün ömrü boyunca müşterilerin ürünle ilgili tepkilerinin izlemek ve koordine etmek, servis problemlerinin ve rakiplerin yeni veya iyileştirilmiş ürünlere olan karşı stratejilerini incelemek, dayanıklılık ve ürün güvenliği istatistiklerini çalışmak vb konular ile ilgili bir takım olarak mı çalışmalıdır?

3.5.4.1 Takım kurulumu ile ilgili bazı yorumlar

Eş zamanlı mühendislik takımlarının kurulumunda sorulması gereken bazı sorular şunlardır;

- Takım üyelerinin bireysel olarak değil de bir takım olarak çalışabilmesi için hangi eğitimlerin alınması gereklidir?
- Takım organizasyonel yapı içerisinde kime raporlama yapmalıdır?
- Proje bittiğinde takım üyelerine ne olacaktır?

- Takım tarafından geliştirilecek başka ürünler var mıdır?
- Eğer yoksa, ait oldukları departmanlara döndüklerinde kendilerini bekleyen iş var mıdır?
- Takım üyeleri merkezi bir odaya mı taşınmaktadır ve tam zamanlı olarak bir arada mı çalışmaktadır, yoksa periyodik olarak mı buluşmaktadırlar?
- Takım birbiri ile çelişen hedefleri nasıl ağırlıklandırır ve en iyi çözümü son ürün tasarımına eklemiştir?
- Takımın üretken olduğu, çelişen hedeflerle ilgili uyuşmazlıklardan dolayı tıkanmaların yaşanmaması nasıl sağlanmalıdır?

3.5.4.2 Eş zamanlı mühendisliğin riskleri

Tavsiye edilen yaklaşımın bu olmasına rağmen, bu yaklaşımla ilgili riskler de vardır. Şöyle ki:

- Takımların yönetilmesi bireylere göre daha zordur.
- Takım toplantıları eğer iyi yönetilmez ise aşırı derecede zamana mal olabilir.
- Takım çalışmasının arşivlenmesi, hassas ve diplomatik bir yaklaşım gerektirir.
- Tüm iyi tasarımcı ve mühendisler, iyi bir takım çalışanı değildir.
- En iyi tasarımcıların bir çoğu çok parlak bireysel başarılarla ortaya çıkmıştır.
- Takım üyelerinin bir araya getirilmelerinin maliyeti göz ardı edilemeyecek boyutlarda olabilir (özellikle de tasarım, üretim ve kilit kadrolar farklı tesislerde bulunmakta ise).
- Takım üyelerinin ana departmanlarından ayrılmasının maliyeti göz önünde bulundurulmalıdır.
- Eş zamanlı mühendislik uygulandığı zaman değişime karşı önemli bir direnç oluşabilir. Bu durumun oluşması normal olup mutlaka üstesinden gelinmesi gereken bir konudur.

3.5.4.3 Eş zamanlı mühendisliğe geçişe gösterilen direnç

Eş zamanlı mühendisliğe yapılan bir geçişin, yöneticiler ve mühendisler arasında direnç görmesine neden olabilecek bazı faktörler şöyledir;

- Birçok yöneticinin genel tutuculuğu ve temkinli davranışları, yaratıcı yaklaşımlar yerine, gelenekselliğin tercih edilmesi,
- İnsanların bilinmeyene karşı gösterdikleri doğal endişe,
- Değişim olduktan sonra iş tanımlarının ne olacağının yeterince anlaşılması veya netleştirilmemesi,
- Takım üyelerinin yeni becerileri öğrenme gerekliliği. Eğitimin içeriğini gerçekleştirememeye veya değişen görevleri yeterli düzeyde gerçekleştirememeye korkusu,
- Değişen sistemle birlikte bazı kişilerin otorite veya pozisyon kaybı endişesi. Örneğin tasarım mühendisleri, kendilerinden farklı hedefleri olan diğer takım üyelerine karşı tasarım otoritelerini kaybedebilirler.
- Kişinin değişim sonrasında görevinin daha düşük bir maaş grubunda değerlendirilmesi veya en uç durumda işini kaybetme korkusu.
- Mevcut iş ilişkilerinin çok iyi olmayan ilişkilerle değişmesi.
- İş tatmininin kaybolması endişesi,
- Üst yönetimin projeyi doğru şekilde yürütemeyeceğine ilişkin endişeler. Değişime karşı olan direncin kaynağının bazı kesimler tarafından değişimle ilgili bilgi eksikliği olarak tanımlanmıştır.

3.5.4.4 Eş zamanlı mühendisliğe karşı olan direncin üstesinden gelmek

Bu tip büyük değişimlerin üstesinden gelmek için 4 farklı yol önerilmektedir. Bunlar; eğitim, katılım, bilgi paylaşımı ve görevlerin netleştirilmesidir. Eğitim, katılımcıların görevlerini yeni sistem altında yürütebilecekleri konusunda kendilerini daha güvende hissetmelerini sağlayarak iş garantisi konusunda oluşan endişeleri ortadan kaldırır. Lawrence (1954) değişime karşı direncin, kişilerin değişimin gerçekleşmesinde görev almalarını sağlayarak üstesinden gelinmesini vurgulamaktadır. Görev tanımları önem taşımaktadır. Yönetim eğer, proje süresince ve projenin tamamlanmasından sonra takım ve

diğer ilişkili kişiler için görev sorumlulukları net bir şekilde tanımlarsa, oluşan endişelerin büyük bir kısmı ortadan kalkacaktır.

3.6 Yeni sistemin yönetimi

Başarının yakalanabilmesi için eş zamanlı mühendislik projeleri en azından proje süresince tüm takım üyeleri üzerinde yetkisi bulunan bir kişi tarafından yönlendirilmelidir. DFM veya DFX tasarım projelerinde liderin rolü projenin başarısı için çok kritiktir.

Farklı yeteneklere, geçmişlere ve davranışlara sahip kişileri yönlendirirken liderlik ve iyi ilişki kurabilme yeteneğinin yanında, lider aynı zamanda tasarım, üretilebilirlik ve üründe istenen diğer teknik özelliklerle ilgili kilit noktalar hakkında teknik yeterliliğe sahip olmalıdır. Birçok tasarım mühendisliği konusu birbiri ile çelişen noktaların dengelenmesi için çok hassas uzlaşımları gerektirmektedir. Ürünün ortaya çıkışı ve satışında etkili olan çeşitli fonksiyonlarla ilgili bilgi ve tecrübe de aynı zamanda önemlidir. Lider sonuç odaklı olmalı, takımın da sonuç odaklı bir yaklaşım içinde olmasını sağlayacak yapıda olmalıdır. Ek olarak, lider takım içi ve takım dışı kişileri de etkilemek için ikna etme gücüne sahip olmalıdır.

3.6.1 Takımın yönetilmesinde yararlı olacak sistem araçları

Tasarım projesinin yürütülmesinde, aşağıdaki noktaların göz önünde tutulması gerekmektedir.

3.6.1.1 CAD/CAM

Eş zamanlı mühendisliğe yardım edecek önemli bir araç bilgisayar destekli üretim sisteminin bir parçası olan iyi bir CAD/CAM sistemidir. Tüm takım üyeleri ve üretim mühendisleri tarafından ulaşılabilen merkezi bir tasarım veritabanı tüm takım üyelerinin aynı bilgi ile çalışmasını sağlar. Bunun anlamı; çalışılabilir bir bilgisayar ağı gerekmektedir. Bu tip alt yapılar, takım üyelerinin tüm işi yüz yüze aynı yerde yürütmesi için gereken kaynak gereksinimi azaltacaktır.

3.6.1.2 Standartlaştırma :

Standartlaştırma önemli bir yaklaşımdır. Mühendisliği ve üretimi kontrol etmek için olabildiğince fazla sayıda sistem parçası bu kapsamda ele alınmalıdır.

Aşağıdakilerin standartlaştırılması göz önünde tutulmalıdır.

- Mühendislik çizimleri
- Tasarım özellikleri
- Parçalar (Yeni parçalar olabildiğince eski parçalara benzemelidir).

Aynı zamanda, toplam kullanılan parça farklılığı sayısı olası en düşük rakamda tutulmalıdır. Halihazırda satın alınmış veya üretime girmiş parçaların işlevsellik, kalite, maliyet ve dayanıklılık açısından onaylanmış olması.

- Bağlama elemanları, malzemeler ve ticari elemanlar
- Modüller
- Tasarım organizasyonu ve prosedürler
- Prosesler

Standartlaştırmanın birçok avantajı vardır. Zaten mevcut olan bileşenlerin kullanılması geliştirme maliyetlerini düşürecektir. Eğitim maliyetleri düşecektir, çünkü çalışanlar herhangi bir prosedürü bir kez öğrendiğinde diğer alanlarda da uygulanması aynı olacaktır. Başka ürünler, geliştirme noktaları ve projeler için eğitim ihtiyacı azalacaktır. Hatalar azalacaktır, çünkü çalışanlar hataları en aza indiren bilgi ve becerilerini geliştirmiştir. Başlangıç maliyetleri düşecektir, çünkü çalışanların, liderlerin ve destek personelinin konu ile ilgili tecrübesi zaten mevcuttur. Kalite yüksek, döngü süresi kısa, üretkenlik daha yüksektir çünkü kısmen de olsa hata ayıklama işlemi bitmiştir. Takım maliyetleri düşük olacaktır, çünkü önceden üretilen benzer parçalar sebebiyle takımlar hazır olacaktır. Üretim miktarları otomasyon veya üretkenliği arttırıcı ekipman veya takım yatırımlarını haklı çıkaracak birçok alanda ekonomikliğe izin verecek şekilde yüksektir. Tam zamanında üretim veya teslimat ayarlamaları daha kolaydır. Çünkü tedarikçi, ilgili parçanın büyük kullanım miktarı ve önemi nedeniyle bu parçaya daha iyi odaklanacak ve stoklanması ile ilgilenebilecektir.

3.6.1.3 *Beyin fırtınası :*

Beyin fırtınası yaratıcılığı arttırmak için bir tekniktir. Bu yöntem bir ürün için tasarım konseptinin geliştirildiği, projenin ilk aşamalarında çok yararlıdır. Bu yöntemin en büyük faydası klasik tasarım yaklaşımında tek başına bir tasarımcının bulamayacağı yüksek derecede yaratıcılığa sahip çözümlerin bulunmasında yatmaktadır. Yöntem proje ile direkt ilgili ve ilgisiz bir grup insanın bir araya gelmesini gerektirir.

3.6.2 **DFM aktivitelerinin yapılması için uygun zamanlama**

Etkin bir DFM çalışması iki temel bakış gerektirir bunlar; tüm ürünün tasarımını basitleştirmek amaçlı (parça sayısını azaltma vs.) ürünün tamamının analizi ve üretilebilirliği arttırabilmek için her bir parçanın analizidir.

Ürünün tamamının analizinin tekil parçaların analizinden önce yapılması daha mantıklıdır. Şöyle ki;

Montaj için tasarım (Design for assembly DFA) tekil parçaları analiz etmektense tüm ürünü basitleştirme ve bileşen ortadan kaldırabilme özelliği sayesinde daha yüksek bir potansiyel geri dönüş sağlama fırsatına sahiptir. DFA analizi sonrasında tüm sistemin konfigürasyonu hangi parçaların kalıp kalmayacağını ve hangi görevleri üstleneceklerini belirleyecektir. Bu yüzden hangi parçaların kalacağı hangilerinin kaldırılacağı kararı verilmeden tekil parçaların analizi gereksizdir. Son montaj firma için en yüksek maliyete sahip olması nedeniyle genellikle en önemli işlemdir. Proje en yüksek maliyetli alana uygulandığı takdirde genellikle daha başarılı olacaktır. Son montaj analiz edildikten ve iyileştirilmiş genel tasarım en azından genel anlamda oturduktan sonra sıradaki adım temel bileşenlerin analiz edilmesidir. Maliyeti veya ürün için önemine göre montajda kullanılan parçalar gözden geçirilmeli ve olabildiğince basitleştirilmelidir.

3.7 *Tasarım önerilerinin değerlendirilmesi*

Tasarımcılar yeni tasarlanan veya yeniden tasarlanan ürünlerin üretilebilirlik ve diğer amaçlarını karşılayıp karşılayamayacağını bilebilmek için bir metoda gereksinim duyarlar.

Tasarımcının genel yargısı tasarımın planlanan tasarım özelliklerine uygun olduğu yönündedir. Fakat daha tarafsız bir ölçüm her zaman için daha iyi olacaktır. Tasarım özelliklerindeki her değişikliğin ürün özellikleri ve üretilebilirliği üzerinde çeşitli etkileri olacaktır.

Değerlendirme, sadece tasarımcının veya ilgili takımın ürünün istenen hedeflere ulaşp ulaşmadığının kontrolü açısından gerekli değil, aynı zamanda alternatiflerin değerlendirilmesi ve en uygun seçeneğin seçilmesi için de gereklidir.

Tercihen tasarım takımı tasarım çalışmalarının ilk safhalarında, ki bu konsept aşaması olabilir, bu tip bir değerlendirmeyi yürütebilmelidir. Bu sayede oldukça maliyetli olan ve zaman tüketen, detaylı bir çalışma, önerilen yaklaşımın doğruluğu ve etkinliği kanıtlanmadan başlamamış olur. Bu süreç tasarım mühendisleri tarafından kolayca uygulanabilecek bir şekilde olmalıdır ve farklı tasarımlar arasında karşılaştırmalar yapabilmek için sayısal veya maliyetle ilgili bazı değerlendirmeler içermelidir.

3.8 Tasarımın değerlendirilmesi

Üretim maliyeti, üretilebilirliğin en genel anlamdaki ölçüsüdür. Ürün veya parça için toplam maliyet olarak anılabileceği gibi, işçilik maliyeti gibi bazı temel maliyet faktörlerini de baz alabilir. Bu konuda en çok ilerleme montaj için tasarım alanında yapılmıştır. Parçaların montaj edilebilirliğinin değerlendirilmesi, takım maliyeti, kar, satış miktarı gibi değişkenlerin montaja göre daha ağır bastığı üretilebilirliğin değerlendirilmesine göre daha kolaydır. Montaj değerlendirme sistemleri farklı alternatifler arasında hızlı ve kolay karşılaştırma imkanı sağlar. Maliyete ek olarak önemli ölçüler; parça sayısı ve montaj süresidir. Direkt işçilik maliyeti üretim maliyetinin doğrudan bir göstergesidir ve birçok durum için kullanılabilir (bazı istisna durumlarda hammadde maliyetleri, işçilik ücretleri ve genel maliyetler de farklı tasarım seçenekleri için önemli farklılıklar gösterir). Bu yüzden birçok durumda farklı tasarım seçeneklerinin üretilebilirliğinin değerlendirilmesi, bu tasarımların her birinin üretimi için gereken direkt işçilik süresinin hesaplanması ve karşılaştırılması ile yapılabilir. Yine de toplam maliyet hesabı, ürün tasarımının

üretilebilirlik açısından ne kadar uygun olduğunun anlaşılmasında tasarımcı için en uygun araçtır.

Klasik maliyet hesabı tasarımda kullanılan malzemenin maliyeti ve üretim süreçlerinde kullanılan işçilik miktarının hesaplanması ile yapılır. Bu yöntem bir parçanın dolayısıyla da tasarımın üretim maliyetini ölçmek için geçerli ve hassas bir yoldur fakat oldukça zaman alır. Zaman ihtiyacı bilgisayar kullanımı ile azaltılabilir.

3.8.1 Montaj değerlendirme sistemleri

Özel olarak DFM için geliştirilmiş olan bilgisayarda maliyet tahmini programları çok ilginç ve yararlıdır. Bu sistemlerden montaj değerlendirme sistemleri ilk ortaya çıkan ve DFM için de birçok açıdan yararlı olan sistemlerdir. Bu noktada belirtilmelidir ki mevcut olan programlar, montajlar için kullanılan işçilik miktarını dikkate almakta, kullanılan malzemenin maliyetini dikkate almamaktadır. Bazı durumlarda farklı tasarımların işçilik maliyeti ile hammadde maliyeti arasında ters orantı olabilmektedir. Örneğin karmaşık bir parçanın birçok basit küçük parçanın montajından meydana gelmesi durumunda montaj için gereken işçilik maliyeti düşecektir. Fakat karmaşık parçanın maliyeti basit tekil parçaların maliyetinden büyük ihtimalle oldukça yüksek olacaktır. Burada iyi olan taraf malzeme maliyeti hesabının birim ağırlık veya birim alandan doğru orantı ile çıkarılabilecek olmasıdır. Hammadde maliyeti farklılıkları, farklı tasarım alternatiflerinin işçilik maliyeti farklılıkları ile birleştirilip daha yaklaşık bir maliyet hesabı yapılabilir. Kullanılan programlar parça sayısına göre hesaplanan montaj süresi ile teoride olması gereken montaj süresini oranlayıp, bir montaj verimlilik değeri çıkarabilirler.

Montajların üretilebilirliklerini hesaplamanın bir başka oldukça kullanışlı yolu daha mevcuttur. Bu yol tasarımı oluşturan parçaların doğrudan sayılmasıdır. Daha az parçadan oluşan montajlar genellikle daha kısa sürede monte edilebilirler ve montaj verimlilikleri daha yüksek olur. Parça sayımı yaklaşımının ve bilgisayar programlarının çok güçlü bir yönü tasarımcıların kendileri tarafından kullanılabilmeleridir. Bu araçlar tasarımcılara yaptıkları çalışmaların, harcadıkları çabanın verimliliğini ölçmede yardımcı olur. Ayrıca üretim çalışanları tarafından tasarımın değerlendirilmesi sonrasında ortaya çıkabilecek ve

daha sonra tasarımcılara tasarımın basitleştirilmesi için baskı yapılmasına neden olabilecek “biz size karşı” düşüncesini ortadan kaldırılmasına yardımcı olur. Programlar montaj zamanı verisinin de bulunduğu tablolar vasıtasıyla tasarımlarının başarısını arttırmak isteyen tasarımcılara rehberlik edebilecek düzeyde bilgi içermelidir. Bu bilgiler sayesinde tasarımcılar daha kolay monte edilebilen daha iyi ürünlerle ilgili eğitilebilirler.

3.8.2 Tekil parçaların üretilebilirlik değerlendirmeleri

Bir parça için alternatif tasarımların üretilebilirliğinin karşılaştırması için kolay yollardan biri, her bir tasarımın üretim sırasında ihtiyaç duyduğu işlem sayısının karşılaştırılmasıdır. Diğer etkenler sabit tutulduğunda en az üretim adımına sahip olan parça en kolay üretilen dolayısıyla da en ucuz parça olacaktır. Tabi ki takımın karmaşıklığı ve malzeme maliyetleri de dikkate alınmalıdır. Yine de bu yaklaşım parçaların DFM açısından değerlendirilmesi için yararlı bir yaklaşımdır.

Bazı firmalar ürünlerinin tekil parçaların üretilebilirliklerini değerlendirebilmek için bazı sistemler geliştirmişlerdir. Daha önce bahsedilen montaj değerlendirme sistemlerinden bir miktar daha karmaşık olan bu sistemlerde her bir üretim metodu için farklı metotlar mevcuttur. Örneğin döküm veya kalıp enjeksiyon plastik parçalar, talaşlı imalatla üretilen parçalar, toz metalürjisi ile üretilen parçalar ve presle üretilen parçaların hepsi farklı sistemlerle değerlendirilir, çünkü tasarım özellikleri, en önemli tasarım kuralları ve üretim maliyetleri her bir yöntem için birbirinden farklıdır. Mevcut sistemler bir parçanın maliyeti ile ilgili tahmin yapabilme işini basitleştirir ve kolaylaştırır. Bu değerlendirme sistemleri takım maliyetinin amortismanı, kullanılan işçilik miktarı ve malzeme maliyetini dikkate alırlar. Montaj değerlendirme sistemlerinde olduğu gibi farklı tasarım konseptleri arasında karşılaştırma yapılabilir. Bazı sistemler ise bilgisayar ortamına aktarılmış olup maliyet tahminlerinin yapılabilmesi için bazı bilgi girişlerine ihtiyaç duyarlar.

3.8.3 DFX özelliklerinin değerlendirilmesi

Değerlendirilen özellik maliyet veya para ile bağlantılı başka bir faktör cinsinden ifade edilebilir. Fakat bu yol DFX özelliklerinin somut olmayan yapısından dolayı her zaman mümkün değildir. En soyut etken bir firmanın istenen özellikleri ürün tasarımına eklemesi ve sonucunda elde edeceği fazladan satış miktarı veya kar oranındaki artışın yaratacağı finansal kazançtır. Örneğin pazara ürün sunma hızı, ürün satışlarını arttırmak için önemli bir etken olarak kabul edilir. Fakat “pazara ürün planlanandan 3 ay önce sunulursa ne kadar kazanç sağlanır ?” sorusu nasıl cevaplanabilir? Bu tip kolay tahmin edilemeyen bir faktör için kesin bir hesaplama yapmak oldukça zordur fakat yinede pazara hızlı ürün sürmeyi değerlendirmek amaçlı sistem geliştiren birisi için olası seçeneklerden biri olacaktır. Benzer şekilde bir tasarımı güvenlik, servis edilebilirlik, dayanıklılık gibi özellikler açısından değerlendirirken tahmin edilen maliyet veya kar miktarları farklı tasarım konseptleri için ilişkilendirilebilir.

Alternatif olarak bazı kriterlere göre puanlandırma yapabilen, dolayısıyla derecelendirme yapabilen bir sistem kullanılabilir. İdeal olarak böyle bir sistem tasarım özelliği ile ilgili bir nümerik değer veya tasarım verimliliği bilgisi sağlayabilmelidir. Normalde bu sistemler bir şekilde genelleştirilmelidir. Ayrıca bu sistemler ciddi anlamda değerlendirmeyi yapan kişinin bilgisine, tecrübesine ve yargılarını bağlı çalışmaktadır. Başka bir alternatif ise tasarımın test edilebilmesidir. Bu seçenek önerilen tasarımdan en az bir numune üretilmesi ve hedeflenen değerlendirmelerle ilgili uygun testlere tabi tutulması ile gerçekleşir. Örneğin dayanıklılık bir tasarım özelliği ise ömür testleri kullanılabilir, ne kadar kullanıcı dostu olduğu ölçülmek isteniyor ise ürünün birkaç kullanıcı tarafından testi ve geribildirim bilgileri gerekli olacaktır.

Neredeyse tüm DFM ve DFX ilkeleri hala oldukça niteldir ve çelişkilere sahiptir. İdeal durum herhangi bir tasarım alternatifinin DFX tavsiyelerine göre etkisinin değerlendirilmesidir. DFX ilkelerinin maliyetler ile ilişkilendirilmesi ve dolayısıyla da nicel bir değerlendirme verebilmesi için bir yol mevcuttur. Bu yol hayat çevrimi maliyet kavramıdır (Taguchinin toplam ürün kalitesi ile ilgili kavramı). Servis, güvenlik, kalite hatası giderme maliyetleri gibi hayat çevrimi maliyetleri ne kadar düşükse DFX performansı da o kadar yüksektir. Fakat daha önce de söylendiği gibi hayat çevrimi

faktörleri büyük oranda soyut karakterli ve matematiksel gösterime uygun değildir. Örneğin dayanıksızlık yüzünden oluşan kötü imajın neden olduğu satış maliyetini tahmin etmek mümkün değildir. Veya güvenlik problemleri nedeniyle ürün sorumluluğu kaynaklı davaların maliyeti tahmin edilebilir mi? Bu tip maliyetlerin kaba bir tahmini yapılabilir, fakat bunların sivri bir köşenin yuvarlatılması (bazen güvenlik bazen de dayanıklılık ile ilgili) gibi çok belirli tasarım değişiklikleri ile ilişkilendirilmesi uygun değildir. Bu tip bir değişikliğin etkisi hesaplansa dahi bu hesaplama oldukça uzun zaman alacak ve kesinlikten uzak olacaktır.

3.8.4 Değerlendirmeyi yapacak taraflar

En iyi yaklaşım tasarımcıların kendi tasarımlarını değerlendirmeleridir. Bu yaklaşımın en büyük avantajı, tasarımla ilgili bilginin bir kişiden diğerine geçme zorunluluğu olmaması, tasarımın bir uzmana anlatılması için yapılması gereken hazırlıkların gerekmemesidir. Montaj ve diğer üretilebilirlik konularını içeren mevcut değerlendirme sistemlerinin en önemli özelliği tasarımcının kendi tasarımını gözden geçirebilmesini nispeten kolaylaştırmasıdır. Bahsi geçen avantajlarının yanı sıra aynı zamanda tasarımcıya yaptığı değerlendirmeler sayesinde sürekli öğrenme fırsatı da sunmaktadır.

4 TRIZ ve çelişkiler matrisi

TRIZ, Rus bilim adamı Genrich Saulovich Altshuller tarafından geliştirilen bir problem çözme tekniğidir. Tüm diğeri yaratıcılığaya dayanan tekniklerden daha çok ilgi çekmesinin nedeni yaratıcılığı sistematik bir yolla ulaşılabilir hale getirmesidir. Altshuller patentler üzerine yaptığı derin araştırma sırasında birçok farklı mühendislik sisteminin zaman içindeki gelişiminde aynı gelişim desenini görmüştür. Buradan hareketle Altshuller icat yapmak isteyen kişilerin (veya problem çözümü yapmak isteyen kişilerin) bu gelişimi öğrenebileceğini ve sonuç vermeyecek birçok denemeden kurtulacağını öne sürmüştür. Bulunan tüm iyi özümelerin ortak özellikleri şöyle listelenmiştir.

- Çelişkileri ortadan kaldırır
- Sistemin ideallliğini artırır
- Boş duran, kolayca erişilebilen kaynakları kullanır.

İyi bir çözüm, problemin nedeni olan çelişkiyi ortadan kaldırır. İki farklı tip çelişki vardır .

- Takaslı çelişki, bir kazanç olduğu zaman bir kaybın da olduğu çelişkilerdir
- Doğal çelişki dendiğinde ise bir şeyin birbirine zıt iki özelliğı olmasıdır.

Bir sistemin ideallığı o sistemin mükemmel sisteme olan yakınlığının ölçüsüdür. Mükemmel sistem (ideal sonuç olarak ta adlandırılır.) müşterinin tüm isteklerini, sıfır maliyet ve sıfır zararlı etki ile gerçekleştiren sistemdir. Yani bir sistem size istediklerinizi daha çok, istemediklerinizi de az verdikçe ve bunları da daha düşük maliyet ve karmaşıklıkla yapmaya başladıkça idealleşmeye başlar.

İmkansız gibi gözüken bu hedeflere ulaşmak için sistemin fark edilmemiş kullanılmayan kaynakları kullanılır. Bu kaynaklar; enerji, malzeme, cisim, bilgi veya sistemin kendisinde veya yakınında olup kolayca elde edilebilecek şeylerdir.

4.1 Problem çözümü alanındaki yeni yaklaşım

Günümüzde Ar-Ge, üretim, pazarlama, yönetim ve diğer alanlardaki çalışmalarındaki tekrar ele alınması ve düzenlenmesi gerekmektedir. Şekil 5-1 bu konu ile ilgili yaklaşımı özetlemektedir.

Şekil 4.1 Eski yaklaşım ve yeni yaklaşımın karşılaştırılması

Yaratıcı çalışmayı etkili hale getirmek ve deneme yanılma metodunu ortadan kaldırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Farklı isimleri olan bu çalışmalar genel olarak iki başlık altında toplanabilir.

İlk grup “modern” veya “sıkı” model olarak anılabilir. Mc Gregor’un (1960) X teorisi bu modeli açıklamaktadır (Mc Gregor 1960). Bu modelde araştırma ve geliştirme merkezleri kurulmuş ve yapılan iş bütçe ve zaman ile takip edilmektedir. İlk bakışta belli olmayan veya dile getirilmeyen kabul; çalışanların sıkı bir şekilde kontrol edilmesi ve yönlendirilmesidir. Bu tip bir yönetim küçük iyileştirmelerin gerçekleşmesine yardımcı olabilir, fakat yeni fikirlerin ortaya çıkmasına çok nadiren öncü olur.

Modern modelin zayıf yönlerini ortadan kaldırmak için birçok çalışma yapılmıştır. Çok sayıda “kreatif” model önerilmiştir. Bu modeller arasında bazı önemli farklılıklar mevcuttur. Hepsi birlikte “insancıl” veya “serbest” model olarak anılabilir ki bu da Mc Gregor’un (1960) Y teorisine uymaktadır. Bu modelle insanların kendi doğalarından gelen bir hayal güçleri ve yaratıcılıkları vardır. İyi sonuçlara ulaşmak için tasarımcıyı sürekli kontrol altında tutmak tek yöntem değildir. Bu yüzden eleştiri veya kontrol en az dereceye indirilmiş veya yasaklanmıştır. Düş gücü, duyular, eğlence, sezgiler ve zevk almak desteklenmiştir.

Serbest modelin kullanılması ile yaşanabilecek hayal kırıklıkları organizasyonların sıkı modele dönmesi ile sonuçlanır. Fakat belirli bir süre sonra geleneksel yönetim yaratıcılığın eksikliğinden dolayı özgürce fikirlerin geliştirilmesi tekrar gündeme gelir. Bu

şekilde endüstride yaratıcı yaklaşımlar, serbest ve sıkı yaklaşım arasında sürekli bir salınım gösterirler. Fakat bu yolların ikisi de istenilen yararı sağlayacak düzeyde değildir.

TRIZ yaklaşımı ise tam olarak ne sıkı modele uymakta ne de serbest modele uymaktadır. İki modelin de faydalı taraflarını bir araya getirmeyi amaçlamaktadır. TRIZ yaklaşımında, hayal gücüne bel bağlamadan, sırasıyla problemin anlaşılması, çelişkilerin modellenmesi ve son olarak ta çelişkilerin, kaynakların kullanımı ve sistemin ideallığının arttırılması ile problemin ortadan kaldırılması planlanan akıştır. Geliştirilen sistemle ve metodun kendisi ile ilgili bilgiye dayanır.

4.2 Çelişkiler

Eğer TRIZ metodu ile problem çözmeyi bir ağaca benzetirsek, çelişkileri tohumlara benzetebiliriz ki bu tohumlardan bir ağaç büyüyebilir. Yani TRIZ ı tek kelime ile ifade etmek istediğimizde “çelişkiler” diyebiliriz. Çelişkiler sistemlerdeki çakışmalardır. Bir sistem iki bileşenden oluşur bunlar araçlar ve nesnelerdir. Örneğin bir baltanın keskin kenarı, ağacı yani nesneyi parçalayan bir araçtır. Parçalama gücü sakarlık gibi tehlikeli özelliklerle de bağlantılı bir özelliktir. Eğer kesici bıçağı daha ağır yaparsanız, daha etkili bir çarpma yaratabilirsiniz fakat kullanımı hantallaşır. Bu yaklaşımı bir aracı, nesneyi ve aradaki çelişkiyi içeren şekil 4.22 de görebiliriz.

Şekil 4.2 Araçlar ve nesneler arasındaki çelişkiler

4.2.1 Takaslar ve doğal çelişkiler

Öncelikle problemin belirlenmesi ve anlaşılması amaçlı bu iki kavramın tanımlanması uygun olacaktır. Bu iki kavram aynı zamanda DFM-TRIZ ilişkisinin kurulduğu matrisinde oluşturulmasında kullanılan mantığın temelleridir. Değiş tokuşlar

veya bir başka ifade ile teknik çelişkiler bir özelliğin iyileşmesinin başka bir özelliğin kötüleşmesine neden olması olarak tanımlanabilir.

Örneğin;

- Ürün sağlamlaşırken (iyi) ağırlığının da beraberinde artması (kötü)
- Yazılımın kolay kullanılabilirliği artmakta (iyi), fakat çok yönlülüğü, esnekliği azalmaktadır (kötü)
- Uçağın kanatları büyümekte (iyi), fakat ağırlığı artmaktadır (kötü)

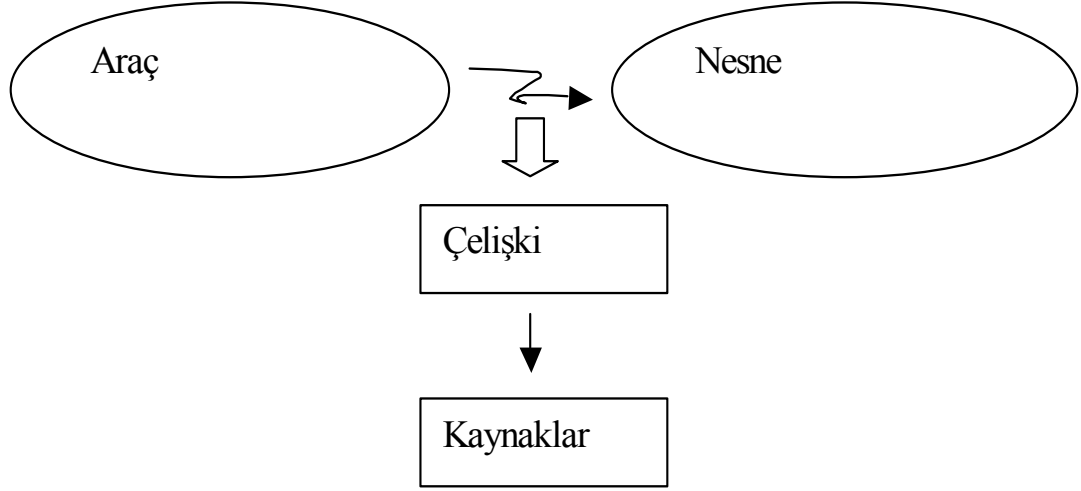
Çelişkilerin anlaşılması için araç ve nesne ilişkisi kullanılmaktadır. Bu ikiliden araç nesne üzerine bir etki yapmaktadır. Bu etkinin sonucuna göre de oluşan takasın tipi belirlenmektedir. Örneğin bir araç kargo taşımakta fakat bir yandan da yolları aşındırmaktadır. Araç ve nesne arasındaki ilişkinin grafiksel gösteriminde ise şimşek benzeri ok; olumsuz ilişkiyi, düz ok; olumlu ilişkiyi, zig zag şeklinde ok ise zararlı etkiyi göstermektedir (şekil 4.3).

Şekil 4.3 Farklı ilişki tipleri

4.3 Kaynaklar

Bazen çelişkinin net bir şekilde ifade edilmesi probleme olası bir çözüm bulabilir. Fakat genellikle ek bilgi gerekebilir. Kaynakların analizi böyle durumlarda çelişkilerin ortadan kaldırılmasına yardımcı olur. Kaynaklar, problemin olduğu bölgede veya bu bölgeye yakın, malzeme, özellik, bilgi, enerji vb. şeylerdir. Eğer direkt olarak veya bazı değişiklikler sonrasında bu kaynaklar kullanılabilir hale getirilirse problem kendiliğinden ortadan kaybolabilecektir. Bu kaynakları takviye güç olarak kabul edebiliriz. Problem üzerinde çalışan kişiler ilk bakışta onları fark edemez çünkü fark etmeye

şartlanmamışlardır. Fakat bu kaynakların fark edilip harekete geçirilmesi problemin çözümüne yardım edecektir (Şekil 4.4)



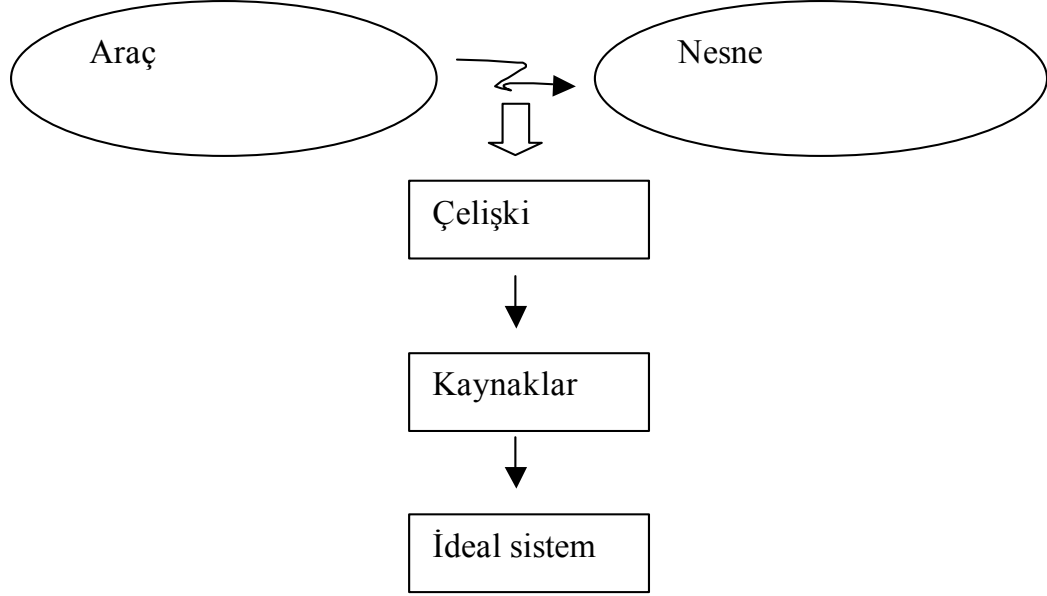
Şekil 4.4 Teknik sistemlerdeki kaynaklar

çin sistemin değişmesine duyulmakta, fakat bir yandan da baltanın kullanımının daha karmaşık hale gelmesi istenmemekteydi. Balta ve ağaç sisteminde kaynaklar; kesici uç, kesici kenar, formu, malzemesi ve diğer özellikleridir. Sistemin özellikleri ise baltanın sapının malzemesi, şekli, kesici kenarın şekli, kesilmek istenen ağaç parçasının özellikleri, ortamdaki havanın özellikleri, vb dir. Başlangıçta problemin ifade ediliş şekline göre, enerjiyi sağlayan ve bunu elleriyle sisteme aktaran kişide kaynak olarak kabul edilebilir.

4.4 İdeal sistem / Sonuç

Kaynakların kullanımı ile ideal sonuca ulaşılabilir. Baltanın vuruşları daha güçlü hale getirilmelidir, fakat kullanımı hala basit olmalıdır. Ağacın kesilebilmesi için balta ağır olmalıdır fakat aynı zamanda kolay kullanım için balta hafif olmalıdır. Bu durum için ideal sonuç şöyle ifade edilebilir; baltanın vuruşunun güçlü olması ve kullanımının kolay olması için baltanın hem ağır hem de hafif olması durumudur. Bu problem balta sapının içinin

boşaltılması sayesinde sağlanmıştır. Ağırlık merkezi kesici uca doğru kaymıştır ve ağırlık etkisi artmıştır. Fakat toplam ağırlıkta bir değişiklik olmamıştır. “İdeallik” sistemin ideal sonuca yakınlığının bir ölçüsüdür (şekil 4.5).



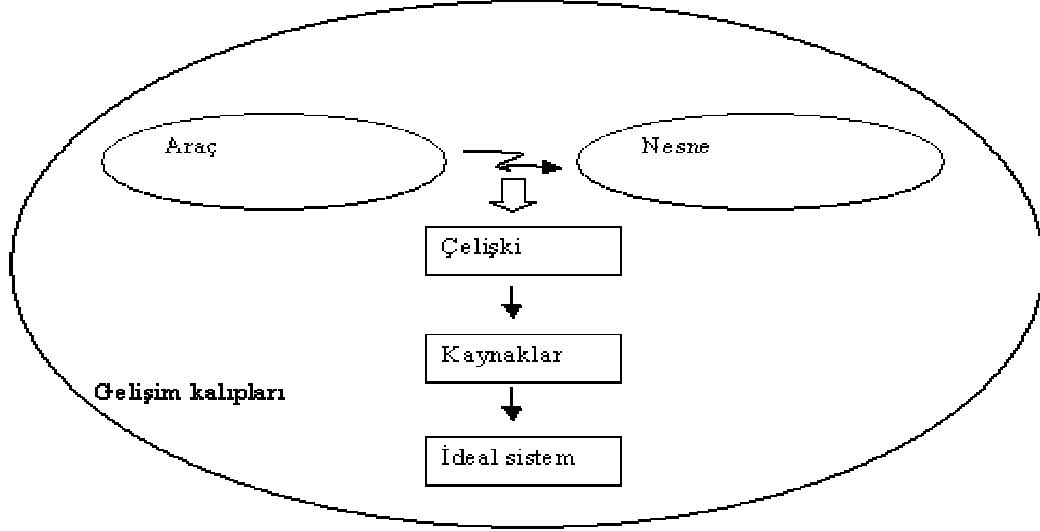
Şekil 4.5 Teknik yapıların idealliği

Sistemin yararlı özelliklerinin artışı veya zararlı özelliklerinin azalışı idealliği artırır. Problemin çözümü için yararlı özellikleri arttırıp zararlı özelliklerin azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması için sistemde zaten mevcut olan sistemler araştırılmalıdır.

4.5 Gelişim Kalıpları

Şimdiye kadar incelenen çelişkinin tespit edilmesi, sistemdeki gizli kaynakların ortaya çıkarılması ve ideal sistemi tanımlamak adımlarının yeterli olmadığı durumlarda, ideal sistem tanımından teknik çözüme geçmek için bir yöntem gerekmektedir. Öncelikle “özellik”, “desen” ve “kural” kavramlarından bahsetmek uygun olacaktır. Özellikler, sistemlerin boyut, hız, ağırlık, esneklik, renk vb. özellikleridir. Gelişim desenleri gelişim sürecinde göze çarpan önemli düzenliliklerdir. Örneğin dev yapılardan, çok küçük yapılara geçiş, veya bu büyük yapıların küçük parçalara ayrılması bu tip gelişim desenleridir.

Desenler bir başka açıdan kurallar gibidir fakat fizikteki gibi katı matematiksel formüller değil daha esnektirler, bu yüzden desen olarak anılırlar.



Şekil 4.6 Teknik sistemlerin gelişimi için gelişim kalıpları

Buluşların tarihsel incelenmesinde birçok iyileşmenin benzer desenleri izlediği gözlemlenmiştir. Örneğin dev yapılardan küçük yapılara geçiş desenini birçok buluşta bulabiliriz. Bilgisayar ve yazıcılardaki birçok mikroskobik yapı, eski hesap makinesi veya daktilolardaki büyük alt elemanların yerini almıştır. Yiyecekler büyük metal plakalarla ısıtılmak yerine mikro dalga fırınlarda içindeki su moleküllerinin titreşimi ile ısıtılmaktadır. Veya küçük hava veya su hüreciklerinin bir araya gelmesinden oluşan yataklar klasik yatakların yerini almaya başlamışlardır.

Bir sistemin farklı parçaları farklı gelişim hızları ve desenleri gösterebilir. Sistem küçülme yerine devleşebilir. Parçalar birbirleri ile daha yoğun bir ilişki içine girebilir. Bu desenler sistemlerin nasıl geliştirilebileceği hakkında ipuçlarına sahip olmak veya ideal sisteme ulaşmak için önerilerde bulunmak amaçlı kullanabilirler.

Balta örneğinde küçük yapılara geçiş deseni düşünülebilir. Balta birçok küçük parçaya bölünebilir. Bölme işlemine devam edildiğinde artık parçacık ardından da molekül düzeyine ulaşılır. Bu noktada birçok fikir ortaya atılabilir sapı kısmen gaz formunda bir

balta, veya kumlama prensibi ile çalışan ve binlerce küçük taneciği kesilecek yüzeye fırlatan bir sistem düşünülebilir.

Altshuller'in, teknik sistemlerin gelişiminde karşılaşılan çelişkileri tanımlayabilmek için kullandığı toplam özellik sayısı 39'dur ve bu 39 özellik çelişkiler matrisi adı verilen bir matrise taşınmıştır (şekil 11) Toplam 39 adet özelliğin birbirleri arasındaki çelişkileri ortadan kaldırmak için ise Çözüm prensipleri tanımlanmıştır. Çözüm prensiplerinin sayısı 40 olup matriste farklı özelliklerin keşişim kutularına bu 1den 40'a kadar olan prensiplerin numaraları yazılmıştır (Şekil 5-7).

		Worsening Feature ↓		Improving Feature ↑																																						
		Hareketli nesnenin genişliği	Statik nesnenin genişliği	Hareketli nesnenin boyu	Statik nesnenin boyu	Hareketli nesnenin alanı	Statik nesnenin alanı	Hareketli nesnenin hacmi	Statik nesnenin hacmi	Hız	Kuvvet (siddet)	Genilim veya basıncı	Şekil	Nesnenin yapsal karakteri	Dayanım	Hareketli nesnenin ekleme süresi	Sabit nesnenin ekleme süresi	Sıcaklık	Ayıklama siddeti	Hareketli nesnenin enerji kullanması	Durgun nesnenin enerji kullanması	Güç	Enerji kayışı	Madde kaybı	Bilgi kaybı	Zaman kaybı	Madde miktarı	Güvenilir olma	Üretim hassasiyeti	Nesnenin etkilediği zararı faktörleri	Nesnenin Ürettiği zararı faktörleri	Üretim kolaylığı	Operasyon kolaylığı	Tamir kolaylığı	İnitabak veya çok yontulmuş	Aletin karnasaklığı	Ortaya çıkarma ve ölçme zorluğu	Ölçümün kapsamı	Verimlilik			
1	Hareketli nesnenin genişliği	15,8	29,34	17,35	29,2	29,2	2,8	8,10	10	10	1,35	28	5,34	6,28	19,1	35	-	-	12	6,2	5,35	10	10	3,26	1,3	28	22	22	27	35,3	2,27	29,5	26	28	26,35	35,3	3	28	26,35	35,3		
2	Statik nesnenin genişliği	10,1	29,35	30	5,35	5,35	8,10	13,5	13,5	26	28,2	19	18	15	18	10	19,6	10	18	5,8	10	10	19,6	10	18	10	1,19	35	28,1	6,13	2,27	19	1,10	25	2,26	1,28	25	15,35				
3	Hareketli nesnenin boyu	8,15	17,4	-	15	7,17	13,4	17	1,8	1,8	1,8	8,35	19	-	10	32	8,35	-	15,19	3,25	-	12,8	6,28	10	24	29	15	32	2,32	1,18	17	2,25	9	1,35	1,26	26	80	14,7				
4	Statik nesnenin boyu	29,34	17,4	-	17,7	4,35	8	10,4	35	10,29	15,34	29,34	-	-	1,10	3,35	3,25	-	2,15	15	10	19	15	10	30,26	24	29	30,6	29,9	28	2,32	33	18,39	26,24	17	13	15	150	14,1	2,36	14	10
5	Hareketli nesnenin alanı	29,4	15	-	17,4	30,4	-	29	19	10	5,34	11,2	3,15	-	16	32	19,32	-	2,10	35	10	19,30	39,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	Statik nesnenin alanı	30,2	26,7	-	4,17	-	-	1,18	10	15	29,4	13,39	40,14	6,3	-	16	32	-	-	2,10	35	10	19,30	39,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Hareketli nesnenin hacmi	2,26	4,35	-	1,7	-	-	29,4	15	6,35	1,15	28	9,14	6,35	-	34	2,13	35	-	35,6	7,15	36	2,22	29	14,1	26	25	22	17,2	29,1	15	10	15,29	26,1	29	35,6	10	10	10	10	10	10
8	Statik nesnenin hacmi	35	19,14	35,8	-	-	-	2,18	24,35	7,2	34	9,14	-	-	35	35,6	-	-	30,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Hız	2,28	13,38	-	29	30,4	-	7,29	13	6,18	35	28	8,3	3,19	-	28	10	8,15	-	19	14	10	13,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Kuvvet (siddet)	8,1	18	17	28,10	29	1,18	15,9	2,36	13	-	18	10	35	35	-	-	19	1,18	19	14,15	40,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11	Genilim veya basıncı	10	13	35	10	10	6,35	35,24	6,35	36	-	35,4	35	9,18	19,3	-	-	14	10	2,36	10	37	10	10	6,28	35	35	11	2	35	19,1	2,36	35,24	10	10	10	10	10	10	10	10	
12	Şekil	28	29	10,26	14,10	15	15	10	36	35,21	-	15,10	35,2	3,40	27	29	-	-	24	35,14	25	36,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13	Nesnenin yapsal karakteri	29,40	10	34,5	14	4,10	15,22	35	15	10	15	18,4	14	26,9	-	22	13	2,6	4,6	2	14	35	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14	Dayanım	35,2	39	15,1	35	32	2,13	34	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
15	Hareketli nesnenin ekleme süresi	19,5	32	32	16	10	10	13,19	10,6	10	10	10	10	10	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
16	Sabit nesnenin ekleme süresi	6,27	9	14,0	-	35	-	34,38	-	35	35	35	35	35	-	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
17	Sıcaklık	36,22	22	15	15	3,35	34	35,6	2,28	35	35	14	1,35	10	19	19	-	-	32	19	1,18	19	14,15	40,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	Ayıklama siddeti	19,1	2,35	19	19	2,13	10	26	32	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
19	Hareketli nesnenin enerji kullanması	12,18	-	12,28	-	15	35	8,35	16	23	12,2	19	5,19	28	-	19	2,15	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
20	Durgun nesnenin enerji kullanması	15,9	6,27	-	19,25	13,18	-	35	26	14,25	29	13	9,35	35,6	-	24,3	19	-	37,18	22	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
21	Güç	8,36	19	1,10	19	19	17	35,6	30,6	15	26,2	22	29	35	26	19	14	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6		
22	Enerji kayışı	15,6	19,6	7,2	6,38	15	17,7	7,18	7	16	36,38	14,2	26	-	-	19	1,13	-	3,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23	Madde kaybı	55,6	35,6	14	10	35,2	10	1,29	3,39	10	14	3,36	29	2,14	35	28	27	21	1,6	35	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28		
24	Bilgi kaybı	10	10	15,2	30	26,4	10	2,5	7,85	10	37	4,10	35,3	29,3	20	28	35	1,19	35	1	35	10,5	35	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25	Zaman kaybı	36	30	29	24	5,16	35	34,10	16	10	37	36,4	34,17	22,5	26,18	10	20	29	26,17	38	1	20	18,32	18	26	38	30,4	34	26	18	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
26	Madde miktarı	35,6	27	29	15	2,18	15	35	35	10	35,14	15,2	14	3,35	3,35	3,17	34	3,35	35	7,18	6,3	24	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
27	Güvenilir olma	3,8	3,10	15,9	15	17	32	5,10	2,35	21	8,28	10	35,14	11,28	2,35	34	3,35	11	21	36,23	11	11	11,35	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
28	Ölçüm doğruluğu	10,40	8,28	14	29	10	35	14,24	24	35	10,3	24	16,11	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32		
29	Üretim hassasiyeti	28	28	10	2,32	28	25	10	28	3,35	32	30,18	3,27	3,27	-	19,26	3,32	32,2	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32		
30	Nesnenin etkilediği zararı faktörleri	2,2	2,22	17,1	1,18	22,1	27,2	22	34	21	13	22,2	22,1	35	18	22	17,1	22	1,19	14	10,2	19	21	33	22	35	35	27	28	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
31	Nesnenin Ürettiği zararı faktörleri	21	13,24	29,4	1,18	33,28	29,3	23	29	22	35	15	10	35	15	15	21	22	19	2,35	21	10,1	1,22	3,24	24,2	3,33	4,17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
32	Üretim kolaylığı	29	36,13	13,17	17,27	26,12	16,40	13	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35		
33	Operasyon kolaylığı	25,2	6,13	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17			
34	Tamir kolaylığı	2,27	2,27	1,28	3,18	15	25,2	1	34,9	1,13	1,13	2,35	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11			
35	İnitabak veya çok yontulmuş	15,8	15	29,2	16	30	35	35,29	10	17,12	10,17	17,28	15,1	29	35	35,16	37,1	30,14	32,6	35	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14	2,14			
36	Aletin karnasaklığı	26	2,26	1,19	26	13,16	6,36	34	16,14	34	16,14	34	16,14	34	16,14	34	16,14	34	16,14	34	16,14	34	16,14	34	16,14	34	16,14	34	16,14	34	16,14	34	16,14	34	16,14	34	16,14	34	16,14	34		
37	Ortaya çıkarma ve ölçme zorluğu	27	6,13	16	2,13	2,39	29,1	2,18	3,4	36	35	27	11	27,3	19	25	3,																									

5 DFM ve TRIZ metodunun entegrasyonu

Klasik ürün tasarımı sürecinde tasarımın, bitmiş ürüne dönüşü tasarım ve üretim mühendisleri arasında tasarımın karşılıklı gidip gelmesi ile olmaktadır. Genellikle tasarım tasarım mühendisi tarafından tamamlanmakta ve üretime gönderilmektedir. Üretim mühendisi tasarımda üretimle ilgili bir problem tesbit ederse tekrar tasarım mühendisi ile iletişim kurmakta ve tasarım sürecinde yeni bir tasarım ve onay basamağı daha eklenmektedir. Bu zaman alan sürecin ortadan kaldırılması için tasarımcılara sunulan en önemli araçlardan biri olan DFM in tasarım önerilerine hızlı erişim büyük önem taşımaktadır. Bu erişimin kolaylaştırılması için çeşitli yaklaşımlar ve bu yaklaşımların kullanılması içinde bazı çalışmalarda yazılımlar geliştirilmiştir. Bu çalışmalar sayesinde üretim süreçlerinden elde edilmiş tecrübeler tasarımcıların kullanımına henüz tasarım sürecinin başlangıcında sunulmaktadır.

TRIZ metodunun teknik sistemlerin özellikleri arasındaki kazanç ve kayıp ilişkilerini yansıtan çelişkiler ve onların ortadan kaldırılması üzerine kurulu yaklaşımı, talaşlı imalat için parça tasarımı sürecinde hedef özellik veya özellik grubu odaklı geliştirme için uygun bir temel oluşturmaktadır. Bu amaçla talaşlı imalatın en yaygın işlem türleri olan tornalama, frezeleme, delik delme, delik işleme işlemlerinin temel özelliklerini yansıtan özellikler tanımlanmıştır. Ardından bu tesbit edilen özelliklerin herbiri için iyileşmenin ve bozulmanın tanımları belirlenmiştir.

Tasarım

1. Parça taşıma sürecinin zorluğu

İyileşmesi taşımanın, transport aracına bağlamanın, kaldırmanın kolaylaşmasıdır. Tersine bozulmadır.

2. Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu)

İyileşmesi çok hassas şartlar istememesidir. Fonksiyonu gereği ilave talaşlı imalat talebinde bulunmamasıdır. Parçanın fonksiyonunun gerekliliklerinin yerine getirilmesidir. Bozulması tam tersidir, fonksiyon gerekliliklerinin çok fazla olmasıdır.

3. Parçanın diğer parçalara montaj rahatlığı

İyileşmesi, montajın kısa zamanda, ek cihaz gerektirmeden, daha az işgücüyle gerçekleşmesidir.

4. Talaşlı imalat sonrası göreceği diğer işlemlerin ihtiyaçları

İyileşmesi diğer işlemlerde gereken özel taleplerin (Rz, Hv gibi) özel şekil gerekliliklerinin (belirli boşluklar, et kalınlıkları, son işlem payı) azalmasıdır. Tersine bozulmadır.

5. Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar)

İyileşmesi, parçanın varsa standartlara göre tasarlanmasıdır. Burada en boy derinlik oranlarından farklı olarak genel şekilsel beklentiler kastedilmektedir. Örn: dış yüzeylerdeki köşelere pah kırılması veya hafiflik istenen yerlerde içi boş profiller kullanılması Tersine bozulmasıdır.

6. Parçanın karmaşıklığı

İyileşmesi parça geometrisinin basitleşmesi, toplam yüzey alanının küçülmesi (yuvarlatma alan küçültür fakat işlemi karmaşıktır), farklı yüzey ve deliklerin azalmasıdır, tersine bozulmasıdır.

7. Parçanın tezgaha bağlanabilme rahatlığı

İyileşmesi : İş parçasının tezgaha istenen konumda bağlanabilmesi için parça üzerinde yeterli alan olması, bağlama süresinin kısa, işgücü ihtiyacının az olmasıdır. Tasarımın bağlama sayısını azaltacak şekilde olması bağlanabilme rahatlığını artırır. Tersine bozulmadır.

8. Bakım kolaylığı

9. En-boy, çap-derinlik oranları

İyileşmesi bu oranların talaşlı imalata uygun hale gelmesi rijitliğı arttırmasıdır.

10. İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi

İyileşmesi işlenmemiş parçanın dış yüzeyinin talaşlı işlemi azaltacak veya kolaylaştıracak şekilde tasarlanmasıdır

Malzeme

11. Malzemenin (bitmiş parçanın) sertliğı ve kopma mukavemeti

12. Malzemenin tokluğu

13. Malzemenin homojenliğı

14. Malzemenin manyetik özelliğı

Maliyet

15. Ekonomik parça sayısı

İyileşmesi ekonomik parça sayısının artmasıdır, bozulması sayının azalmasıdır.

16. Malzeme maliyeti

İyileşmesi birim malzeme veya parça başına maliyetin düşmesidir

17. İşçilik maliyeti

İyileşmesi işçilik maliyetlerinin düşmesi, parçaya yapılan manuel işlemlerin azalmasıdır. tersi bozulmadır.

18. Tezgah maliyeti

İyileşmesi tezgah maliyetinin düşmesidir.

19. Kesici uç maliyeti

İyileşmesi kesici uç maliyetinin düşmesidir,bozulması maliyetin artmasıdır.

Metot

20. Farklı imalat yöntemi gereksinimi

İyileşmesi farklı imalat yöntemi gereksinimi sayısının, türünün azalmasıdır.

21. Takım değıştirme süresi

İyileşmesi takım değıştirme süresinin kısalması, bozulması sürenin uzamasıdır.

22. İşlemin toplam süresi

İyileşmesi işlemin toplam süresinin kısalması.

23. işlemin gerektirdiğı bilgi ve beceri düzeyi

İyileşmesi: işlemin fazla proses bilgisi, tecrübe, operatör becerisi gerektirmemesidir. tersi bozulmadır.

24. Kesici uç (ve takım) geometrisi

İyileşmesi geometrinin işleme uygun hale gelmesidir, istenen formda olmasıdır, işlemin sonucuna olumlu etki etmesidir.

25. Kesici ucun ömrü

26. İşlem sonrası ölçüm ve kontrol ihtiyacı

İyileşmesi üretim sonrası ölçümlerin yüksek maliyetli olmaması, kısa süreli ve sayıca az olmasıdır. Bozulması tam tersidir.

27. Toleransların kalitesi

İyileşmesi hareketli parçalar için en az sürtünme kuvveti ile en sıkı geçmeyi sağlar ayrıca tolerans genişliğinde dikkate alınması gerekir. Ters bozulmadır.

28. İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

İyileşmesi yüzeye kolay ulaşılması çevresinde yeterince boş alan olması, işlemi yapmak için yeterli zamanın olmasıdır. Bozulması tersidir

29. Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı

İyileşmesi talaşın kopmasından sonra parçaya ve takıma zarar vermeden, sıkışmadan hızla uzaklaşmasıdır. Ters bozulmadır.

30. Optimum işlem parametrelerine yakınlık

İyileşmesi Yüzey kalitesinin artması. Bozulması tersidir.

31. Yüzey kalitesi

İyileşmesi takım sayısının azalmasıdır, bozulması takım sayısının artmasıdır.

32. Farklı takım sayısı

İyileşmesi takım sayısının azalmasıdır, bozulması takım sayısının artmasıdır.

Makina

33. Tezgahın rijitliği

34. Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti

İyileşmesi tezgahın hassas, doğru ve hızlı konumlama yapması, eksen sayısının artması, dar yerlere rahat ulaşmasıdır. Ters bozulmadır.

35. Tezgahın otomasyon derecesi.

Özellik tanımlama sırasında üretim alanında problemlerin çözümünde kullanılan makine, malzeme, insan, metot, ortam yaklaşımına benzer olacak şekilde tasarım, malzeme, maliyet, metot, makine ana başlıkları kullanılmıştır. Tanımlanan özellikler TRIZ metodunun çelişkiler matrisi benzeri 35X35 lik bir matriste satır ve sütunlara yerleştirilmiştir. Tespit edilen problemlerin temel özelliklerin çelişmesi şeklinde ifade edilmesi sırasında özellikler arasındaki ilişkiyi yansıtmak amacıyla matrisin çözüm önerileri içeren kutuları farklı renklerle görselleştirilmiştir. Bu görselleştirme ile matriste 4 farklı tip 4 farklı tip kutu oluşturulmuştur. Bunların anlamları şöyledir;

Tek taraflı ilişkiler

İyileşme-iyileşme, kötüleşme-kötüleşme

Bu ilişki tipinde satırlarda sıralanmış parametrelerin iyileşmesi veya kötüleşmesi sonrasında sütunlarda sıralanmış parametreler de **aynı yönlü** olacak şekilde iyileşmekte veya bozulmaktadır. Bu tip ilişkiler matriste yeşil renkli kutularla gösterilmiştir

İyileşme-kötüleşme, kötüleşme-iyileşme

Bu ilişki tipinde satırlarda sıralanmış parametrelerin iyileşmesi veya kötüleşmesi sonrasında sütunlarda sıralanmış parametreler **zıt yönlü** olacak şekilde kötüleşmekte veya iyileşmektedir. Bu tip ilişkiler matriste beyaz renkli kutularla gösterilmiştir.

Çift taraflı ilişkiler

İyileşme-iyileşme, kötüleşme-kötüleşme

Bu ilişki tipinde satır veya sütunda ilgili parametrenin iyileşmesi veya kötüleşmesi sonrasında **aynı yönde** olacak şekilde yine satır veya sütundaki parametrede iyileşmekte veya kötüleşmektedir. Çift taraflı ilişkiler matriste köşegene göre simetrik kutular yaratan çelişkilerdir. Bu tip ilişkiler matriste sarı renkli kutularla gösterilmiştir.

İyileşme-iyileşme, kötüleşme-kötüleşme

Bu ilişki tipinde satır veya sütunda ilgili parametrenin iyileşmesi veya kötüleşmesi sonrasında **zıt yönde** olacak şekilde yine satır veya sütundaki parametrede iyileşmekte veya

kötüleşmektedir. Çift taraflı ilişkiler matriste köşegene göre simetrik kutular yaratan çelişkilerdir. Bu tip ilişkiler matriste sarı renkli kutularla gösterilmiştir.

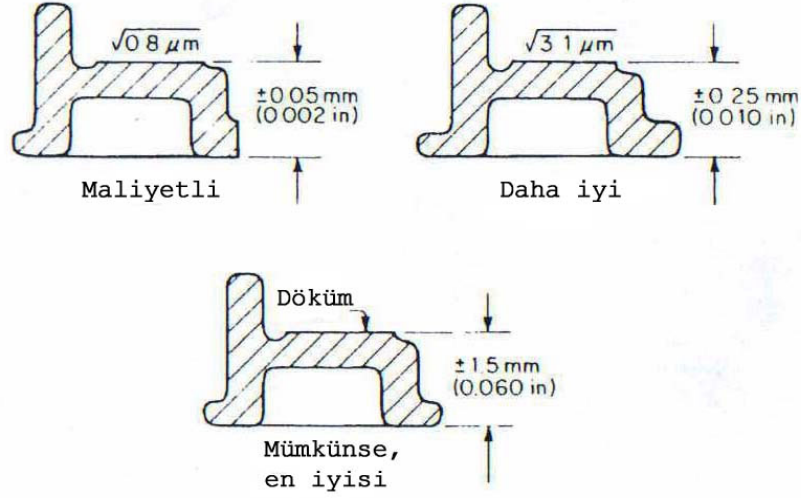
Bu renk tanımları sayesinde tasarımcı belirli bir parametreyi sabit tutarak veya değişmesini hedefleyerek istediği tasarım önerilerine ulaşabilir. Renk tanımlamalarının yapılması ile tasarımcıya sunulan öneriler eş zamanlı olarak belirlenmiştir. Önerilerin tespitinde iki yol kullanılmıştır. Bunların ilki matristeki özelliklerin çelişmesi sonucu oluşan çelişkilerin ortadan kaldırılmasına yardımcı olacak önerilerin öneri havuzundan tespiti, ikincisi ise öneriler havuzundaki önerilerin hangi özelliklerin çelişmesini çözeceğinin matristeki özelliklerin arasından tespitidir. (şekil 5.1)

		Tasarım										Malzeme				Malzeme				Metot										Malzeme			
		İşleme teknikleri																															
Dönüşüm teknikleri		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Tasarım	1. Parçanın tasarlama sürecinin zorluğu																																
	2. Parçanın çalışma hassasiyeti (toleransları)																																
	3. Parçanın diğer parçalara montajı zorluğu																																
	4. Talaşlı imalat sonrası parçanın göreceli diğer parçaların fitliği																																
	5. Uygun pekiyetli tasarım (standart boyutlar, genel kuralları)																																
	6. Parçanın kılınması																																
	7. Parçanın testlere bağlanabilirliği																																
	8. Bakım kolaylığı																																
	9. Enüstrü, uygun derinlik verildi																																
	10. Ekonomik parçanın dağılımı																																
Malzeme	11. Malzemenin (bilimsel parçanın) sentezi ve fitliğinin muayenesi																																
	12. Malzemenin kalitesi																																
	13. Malzemenin homojenliği																																
	14. Malzemenin marjinalite oranlığı																																
Malzeme	15. Ekonomik parçanın dağılımı																																
	16. Malzeme maliyeti																																
	17. İşçilik maliyeti																																
	18. Talaşlı maliyeti																																
Metot	19. Kesici us maliyeti																																
	20. Farklı imalat yöntemleri gerektirimi																																
	21. Takım değiştirme süresi																																
	22. İşlemin toplam süresi																																
	23. İşlemin gerektirdiği ilave ve benzeri durumlar																																
	24. Kesici us (ve talaş) gerektirimi																																
	25. Kesici usun ömrü																																
	26. İşlem sonrası ölçüm ve kontrol ihtiyacı																																
	27. Toleransların kalitesi																																
	28. İşleme yüzeyinin düzlüklüğü																																
Malzeme	29. Talaşlı imalatın zorluğu																																
	30. Kesici usun maliyeti																																
	31. İşçilik maliyeti																																
	32. Farklı imalat yöntemleri gerektirimi																																
	33. Takım değiştirme süresi																																
	34. İşlemin toplam süresi																																
	35. İşlemin gerektirdiği ilave ve benzeri durumlar																																

Şekil 5.1 Yeni oluşturulan çelişkiler matrisi

5.1 Talaşlı imalat alanında karşılaşılan problemler için öneriler

1) Mümkünse talaş kaldırma işleminden kaçınılmalıdır. Eğer yüzey veya istenen özellik döküm veya şekillendirme vasıtasıyla elde edilebiliyorsa parça maliyeti çoğu zaman daha düşük olacaktır. Talaş kaldırma işleminin mümkün olan yerlerde kullanılmaması parça maliyetini düşürecektir (şekil 5.2).



şekil 5.2 Talaşlı imalat işlemlerinin eliminasyonu (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Ekonomik parça sayısı X İşlem için kullanılan farklı takım sayısı

Parçanın alışma hassasiyeti (fonksiyonu) X Yüzey kalitesi

İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi X İşlemin toplam süresi

2) Kaba işlemleri basitleştirmek ve daha sonraki taşlama, raybalama, lepleme gibi maliyeti arttırıcı ikincil işlemlerden kaçınmak için mümkün olan en kaba yüzey kalitesi ve en geniş tolerans aralığı belirlenmelidir.

Parçanın alışma hassasiyeti (fonksiyonu) X Yüzey kalitesi

İşlem için kullanılan farklı takım sayısı X Parçanın alışma hassasiyeti (fonksiyonu)

Kesici uç maliyeti X Parçanın gerektirdiği farklı talaşlı imalat yöntemleri

Parçanın alışma hassasiyeti (fonksiyonu) X Ekonomik parça sayısı

3) Parça tasarımında bağlantı bölgelerinin kolay ulaşılabilir ve mukavemeti yüksek şekilde tasarlanması gerekir. Parça talaş kaldırma işlemi için kolay ve sağlam bağlanacak şekilde tasarlanmalıdır. Güvenli ve sağlam bir bağlama için geniş, dayanıklı ve paralel yüzeyler uygundur.

Uygun şekilsel tasarım X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

Parçanın karmaşıklığı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

Parçanın karmaşıklığı X Parçanın taşıma sürecinin zorluğu

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

4) Kesici takımda sert köşeler ve noktalar gerektiren tasarımlardan kaçınılmalıdır, çünkü bu tip tasarımlar kesici takımı kırılmaya daha müsait hale getirirler.

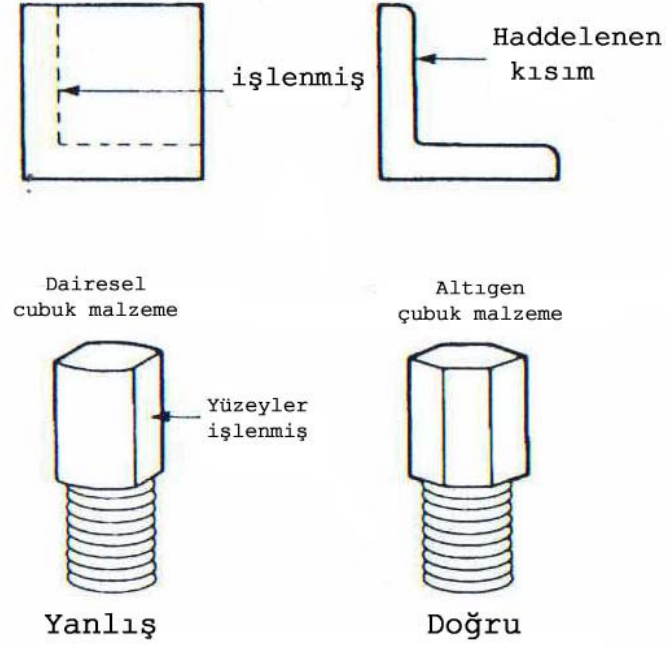
Kesici uç maliyeti X Kesici uç geometrisi

Optimum işlem parametrelerine yakınlık X Kesici uç geometrisi

Ekonomik parça sayısı X Takım değiştirme süresi

Yüzey kalitesi X Kesici uç geometrisi

5) Mümkün olan yerlerde, en dış çapın kütük malzemenin çapına eşit alınması herhangi bir işleme operasyonunu veya fazladan bir yüzey için olan işlemi ortadan kaldıracaksa bu boyutlar kullanılmalıdır. (Şekil 5.3)



Şekil 5.3 hammadde boyutlarının kullanımı (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Ekonomik parça sayısı X Yüzey kalitesi

Toleransların kalitesi X Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu)

Parçanın gerektirdiği farklı talaşlı imalat yöntemleri X Ekonomik parça sayısı

Malzeme maliyeti X Toleransların kalitesi

İşçilik maliyeti X Yüzey kalitesi

Kesici uç maliyeti X Yüzey kalitesi

6) Tornalama gibi tek kenarın teması ile gerçekleşen talaş kaldırma işlemlerinde mümkünse sürekli olmayan darbeli talaşlı imalat işlemlerinden veya seramik, CBN, PCD takımların kullanımından kaçınılmalıdır, çünkü bu tip işlemler kesici takım ömrünü kısaltır.

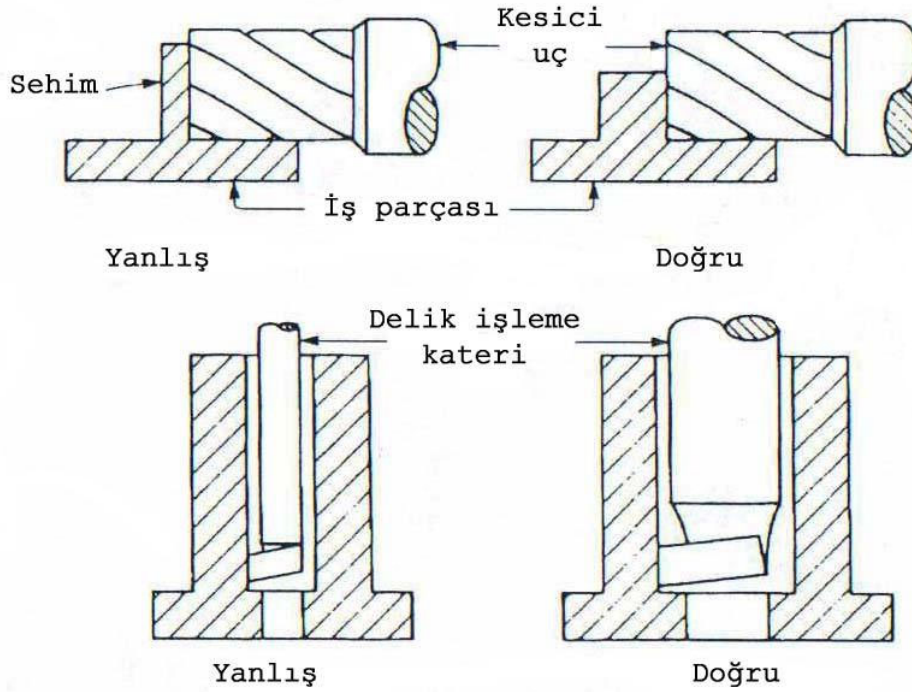
Kesici uç geometrisi X Kesici uç maliyeti

İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi X Kesici ucun ömrü

Optimum işlem parametrelerine yakınlık X Takım değiştirme süresi

Optimum işlem parametrelerine yakınlık X Kesici ucun ömrü
 Malzemenin homojenliği X Kesici ucun ömrü

7) Parça bağlama ve işleme kuvvetlerine şekil bozukluğu meydana gelmeden dayanacak şekilde rijit tasarlanmalıdır. Parçayı sağlam bir şekilde tutacak sabitleme kuvvetleri de kesici uçlar tarafından meydana getirilen kuvvetlerde çok yüksek olabilir. Bu anlamda ince cidarlı, ince yüzeyli, işlem gerektiren derin cepler veya delikler içeren parçalar problemlidir. Parça rijit bir katerin tüm yüzeylere erişebileceği şekilde tasarlanmalıdır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 İnce cidarlı parçaların işlenmesi (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar) X Optimum işlem parametrelerine yakınlık

En-boy, çap-derinlik oranları X Optimum işlem parametrelerine yakınlık

8) Konikliklerden ve konturlardan olabildiğince kaçınılmalıdır. Dikdörtgensel parça hatları talaşlı imalat sırasında daha basit takımlara ve ayarlamalara ihtiyaç duyar.

Takım değiştirme süresi X Ekonomik parça sayısı

Farklı takım sayısı X Ekonomik parça sayısı

Parçanın karmaşıklığı X Ekonomik parça sayısı

Parçanın karmaşıklığı X Parçanın gerektirdiği farklı talaşlı imalat yöntemleri

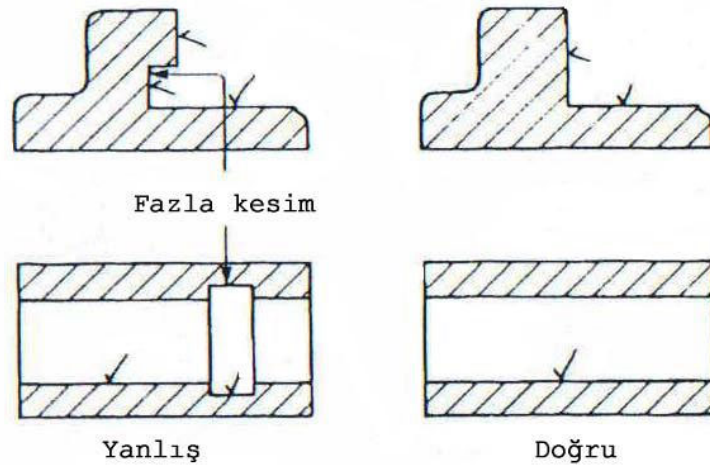
9) Fatura boyları ve boyutları olabildiğince azaltılmalıdır, çünkü genellikle fazladan operasyon adımları ve malzeme gerektirirler.

Malzeme maliyeti X Ekonomik parça sayısı

Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu) X Parçanın gerektirdiği farklı talaşlı imalat yöntemleri

Kesici uç maliyeti X Parçanın karmaşıklığı

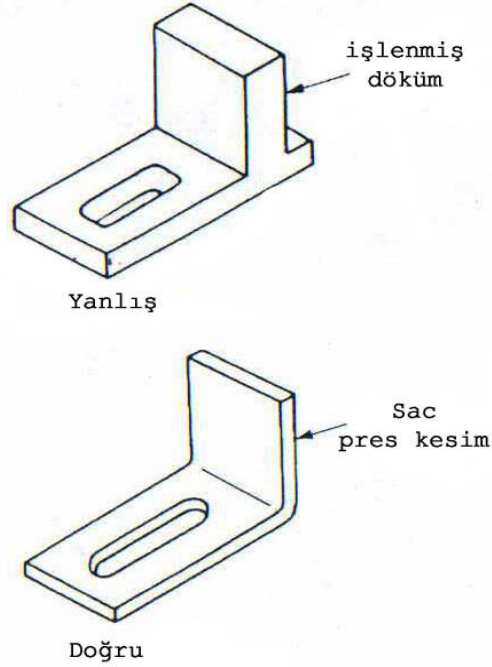
10) İç faturalardan ve kanallardan olabildiğince kaçınılmalıdır. Çünkü bunlar ek olarak özel yapılmış takımlar gerektirirler. (Şekil 5.5)



Şekil 5.5 Erişimin zor olduğu bölgelerin eliminasyonu (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

En-boy, çap-derinlik oranları X Optimum işlem parametrelerine yakınlık
 İşlem için kullanılan farklı takım sayısı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği
 İşlem için kullanılan farklı takım sayısı X En-boy, çap-derinlik oranları

11) Talaşlı imalatla üretilmiş parça yerine preslenmiş bir parça kullanımı dşnlmelidir. Eğer kalıp hazırsa veya parça sayısı kalıplandırma maliyetini amorti edebilecek düzeyde ise preslenmiş sac-metal parça her zaman için (eğer boyutsal hassasiyet ve yüzey toleransı uygunsa) talaşlı imal edilmiş parçadan daha düşük maliyetli olacaktır (şekil 5.6).



şekil 5.6 Talaşlı imalat yerine sac malzeme kullanımı. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Parçanın alışma hassasiyeti (fonksiyonu) X Ekonomik parça sayısı
 Parçanın alışma hassasiyeti (fonksiyonu) X Toleransların kalitesi
 Farklı takım sayısı X Ekonomik parça sayısı
 İşçilik maliyeti X Ekonomik parça sayısı

Kesici uç maliyeti X Toleransların kalitesi

12) Eğer fonksiyonel özellikleri nedeniyle işlenecek parça için bir gereklilik arz etmiyorsa sertleştirilmiş veya işleme zor malzemeler kullanılmamalıdır.

Malzeme maliyeti X Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu)

Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu) X Talaşlı imalat sonrası göreceği diğer işlemlerin ihtiyaçları

13) Yüzey işleme gerektiren ince parçalarda kaba ve ince işlem için yeterince pay bırakılmalıdır. Bazı durumlarda kaba ve ince işlemler arasında gerilme giderme tavlama uygulanması tavsiye edilebilir. Kaba ve ince işlem bazen iki taraf içinde gereklidir. Kaba malzemede ince işlem için yaklaşık 0.4 mm pay bırakılmalıdır.

Toleransların kalitesi X Malzeme maliyeti

Toleransların kalitesi X Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti

Talaşlı imalat sonrası göreceği diğer işlemlerin ihtiyaçları X Toleransların kalitesi

Toleransların kalitesi X Kesici uç maliyeti

14) Gerekli operasyon sayısını azaltmak açısından işlenecek yüzeyler aynı düzlemde, eğer silindirik bir yapıda iseler de aynı çapta olması tercih edilmelidir. Eğer işlenecek yüzeyleri aynı düzlemde oluşturmak mümkün değilse yüzeylerin aynı set-up ile veya aynı taraftan başlanarak işlenebilecek şekilde konumlandırılması tercih edilmelidir.

Ekonomik parça sayısı X Parçanın gerektirdiği farklı talaşlı imalat yöntemleri

Parçanın karmaşıklığı X Ekonomik parça sayısı

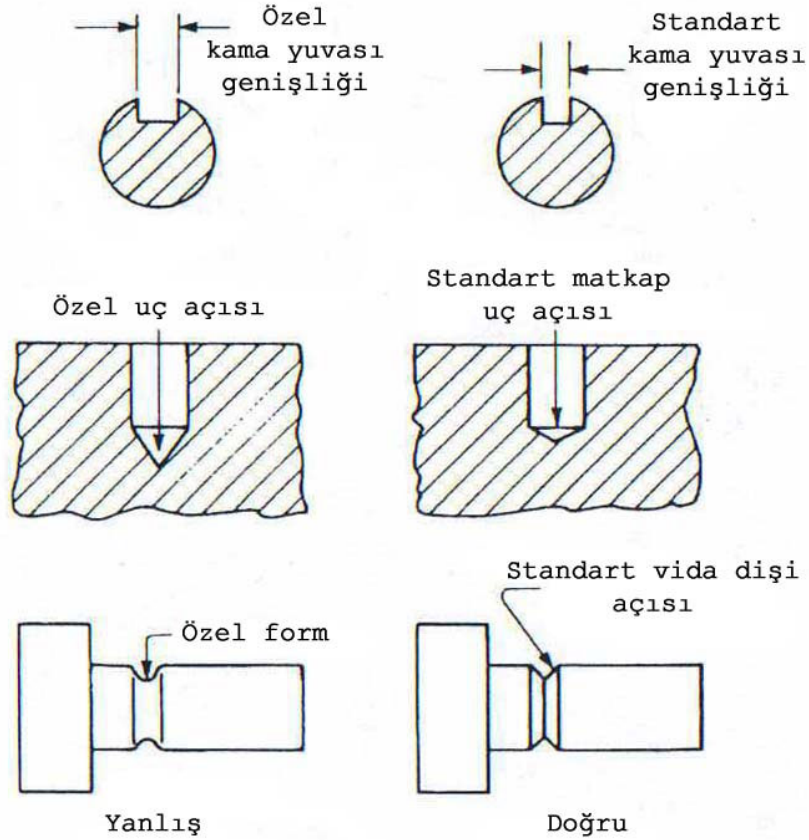
İşçilik maliyeti X Parçanın karmaşıklığı

15) Takımlar, burçlar, bağlama elemanları için erişim boşlukları sağlanmalıdır.

Parçanın diğer parçalara montaj rahatlığı X Parçanın karmaşıklığı

Bakım kolaylığı X Parçanın diğer parçalara montaj rahatlığı

16) İş parçaları özel formlar gerektiren takımlar yerine standart takımların kullanılabileceği şekilde tasarlanmalıdır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 Standart uç formuna uygun tasarım. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Kesici uç maliyeti X Farklı imalat yöntemi gereksinimi

Takım değiştirme süresi X Ekonomik parça sayısı

Farklı takım sayısı X Ekonomik parça sayısı

17) Mümkünse kaba yüzeyler merkezleme veya bağlama yüzeyi olarak kullanılmamalıdır.

Alternatif bağlama veya merkezleme yüzeyleri kullanılmalıdır.

Parçanın tezgaha bağlanabilme rahatlığı X Yüzey kalitesi

Tezgahın rijitliği X Toleransların kalitesi X Yüzey kalitesi

İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X Parçanın tezgaha bağlanabilme rahatlığı

18) Kesici takımın ilerlemesine engel olan çıkıntılar, faturalar olabildiğince engellenmelidir. Bunun yerine kesimin sonunda serbest alan yaratılmalıdır. Bu alan talaş kaldırma işlemini azaltmak için döküm veya dövme ile şekillendirilmiş olabilir. Bu aynı zamanda çapaklar için kritik olamayan alan da yaratabilir.

Parçanın karmaşıklığı X Optimum işlem parametrelerine yakınlık

19) Çapak oluşumu talaşlı imalatın doğal bir sonucudur. Tasarımcı çapak oluşumunu beklemelidir. Mümkünse bu talaşların kolay tahliyesi için boşluk sağlamalı ve talaşın kolay tahliyesi için gerekli donanımı hazırlamalıdır.

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X Parçanın karmaşıklığı

Parçanın karmaşıklığı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

Uygun şekilsel tasarım X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

20) Çubuk işleme tezgahında üretim için tasarım yapılırken avantaj sağlayabilmek amacıyla genellikle çubuk hammaddenin boyutları ve toleransları kullanılır. Parçanın en büyük çapı malzemeden tasarruf etmek ve işlemeyi azaltmak için mümkünse çubuk malzemenin çapıyla aynı olmalıdır. Özel çaplar veya şekiller yerine tercihen standart çubuk malzemenin boyutları ve şekilleri kullanılmalıdır.

Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu) X Parçanın gerektirdiği farklı talaşlı imalat yöntemleri

Malzeme maliyeti X Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar)

Yüzey kalitesi X Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu)

Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu) X Ekonomik parça sayısı

21) Dış yüzeyler için karmaşık form takımlar, iç yüzeyler için havşalar basit takımlara nazaran bir miktar maliyetli olsalarda çubuk işleme tezgahı ürünlerinin tasarımlarını olabildiğince basit tutmak için mümkün olduğunca bu takımlar tavsiye edilirler. Ne kadar az takım yeri, ne kadar az işlenmesi ve ölçülmesi gereken karakteristik olursa uzun vadede parçanın maliyeti de o kadar az olur. Örneğin dış form için birden fazla takımın kullanılması hem takımların değişim süreleri yüzünden parçanın işleme zamanının uzatacak hem de bazı durumlarda kullanılan bu takımlar, aynı dış form için kullanılabilecek tek bir takımdan daha pahalıya gelebilecektir. Ayrıca parça geometrisi karmaşıktıkça bu yüzeylere ulaşmak güçleşecek, üretim sonrası ölçümler maliyetli olacaktır. Tek bir takım kullanılması ölçüleri iş parçası üzerine tek seferde aktaracağı için karmaşık yüzeylerde ölçü hassasiyeti artacaktır.

Farklı imalat yöntemi gereksinimi X Ekonomik parça sayısı

Farklı takım sayısı X Ekonomik parça sayısı

Parçanın karmaşıklığı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

Parçanın karmaşıklığı X Farklı takım sayısı

Parçanın karmaşıklığı X İşlem sonrası ölçüm ve kontrol ihtiyacı

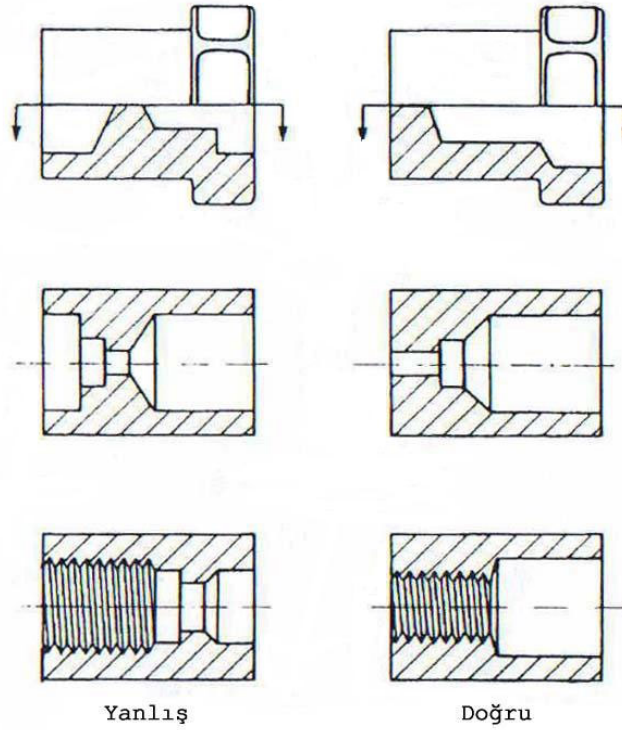
22) Olabildiğince standart takımlar kullanılmalıdır. Tasarımcı delik, dış, kanal, tırtıl boyutlarını belirlerken standart, çok kullanılan boyutları vermelidir. Böylece özel olarak üretilmesi gereken takımlar veya ölçü cihazları yerine standart olarak mevcut olanlar kullanılabilir. Örneğin teorideki en iyi durum olan tek tip takım kullanılması sayesinde takım değiştirme süresi ortadan kalkar, takım maliyeti sadece bir takım olduğu için minimum düzeye iner. Ayrıca standart takım kullanılması herhangi bir takım kırılması durumunda yeni takımın bulunması için gereken süreyi de azaltır. Tasarımcı parça üzerindeki deliklerin çaplarını standart matkap ucu boyutlarından seçtiği takdirde kullanılan takımların maliyeti özel üretim takımlara göre oldukça düşük olacaktır.

Takım değiştirme süresi X Farklı takım sayısı

Farklı takım sayısı X Kesici uç maliyeti

Ekonomik parça sayısı X Takım değiştirme süresi

23) Çubuk işleme tezgahı ürünleri olabildiğince çubuk malzemeden kesildiğinde bitecek şekilde tasarlanmalıdır. Eğer ikincil işlemler önlenemiyorsa bunlar olabildiğince azaltılmalıdır. Çubuk malzemede işlem sırasında parçanın diğerk tarafında kalan, elde edilemeyen kanallar, düzlem yüzeyler veya diğerk yüzeyler varsa bunlar parça bir tutma aparatında tutulurken işlenecek şekilde tasarlanmalıdır.



Şekil 5.8 işlemin tek seferde tamamlanması esası. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Bu yüzeyler ağır kesme işlemleri gerekmeyecek şekilde küçük olmalıdır. Parçanın olabildiğince çok sayıda işlenecek yüzeyi özellikle de iç yüzeyleri ve çekilen dışları parçanın tek tarafında toplanmalıdır. Böylece tüm işlemler parça kütük malzemedan kesilmeden önce yapılabilecektir. Örneğin burada işleme yüzeyinin ulaşılabilirliği arttıkça, yani çok dar kanallardan, derin deliklerden, dairesel olmayan yüzeylerden kaçınıldıkça, işlem süresi kısılacak ekonomik parça sayısı artacaktır. Ayrıca kullanılan takım sayısının düşmesi de hem işlem zamanı hem maliyet açısından avantaj sağlayacaktır (Şekil 5.8).

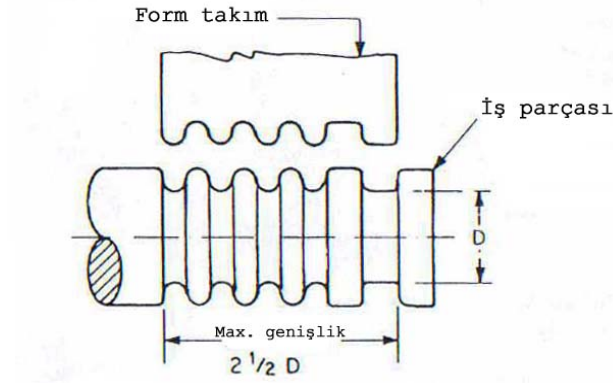
Parçanın karmaşıklığı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

İşlem için kullanılan farklı takım sayısı X Ekonomik parça sayısı

Parçanın karmaşıklığı X İşlem için kullanılan farklı takım sayısı

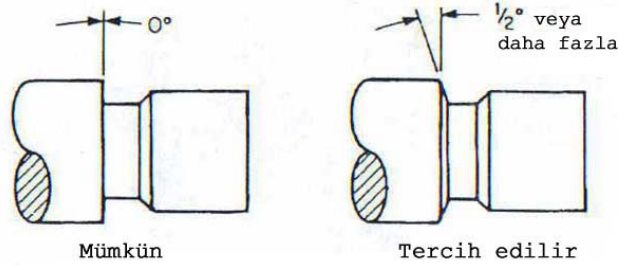
İşlem için kullanılan farklı takım sayısı X Takım değiştirme süresi

24) Tek form takımla işlenebilecek bölgelerin uzunluklarında sınırlamalar vardır (Şekil 5.9). Bu bölgelerin uzunlukları normal olarak iş parçasının en küçük çapının 2,5 katını geçmemelidir. Parça eksenine dik olan kanalların yan yüzeyleri veya diğer yüzeyler çok az bir eğime sahip olmalıdır. Bu eğim takım parçadan çıkarılırken yan yüzeylerde iz oluşmasını engelleyecektir. Tavsiye edilen eğim 0,5 derece veya fazlasıdır (Şekil 5-10). Parça kare veya altıgen parçadan üretiliyorsa, tornalanan çapın çubuk malzemenin karşılıklı iki yüzeyinin arasındaki mesafeden daha küçük olmasına dikkat ediniz. Çubuk malzemenin boyutlarında küçük değişimler veya merkezden kaçıklık, silindirik olmayan bir yüzeyin oluşmasına neden olabilir. En iyi çözüm tornalanan yüzeyi 0.25 mm veya daha fazla fark olacak şekilde çubuk malzeme boyutlarından küçük tasarlamaktır. Parçada kullanılacak form takım kırılğan olmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Mesela derin, dar kanallar, keskin köşelerden kaçınılmalıdır.



Şekil 5.9 Form takımların kullanımında belirli sınırlamalar mevcuttur. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Örneğin talaşın parça üzerine açılan kanallardan rahat çıkabilmesi, takım ile parça arasına sıkışmaması için belirli bir boşluk bırakılmalıdır. Bu boşluğun bırakılması sayesinde yüzeylere sürtünmeyecek olan talaş yüzey kalitesini bozmayacaktır. Ayrıca rijitliğin artırılması için belirli en boy oranlarına dikkat edilmesi gerekmektedir, aksi takdirde kesme kuvvetleri nedeniyle işlem sırasında parça üzerinde istenmeyen sehimler oluşabilir.



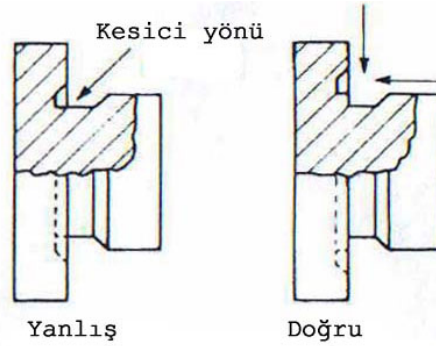
Şekil 5.10 Boşluk açıları büyük önem taşır. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı

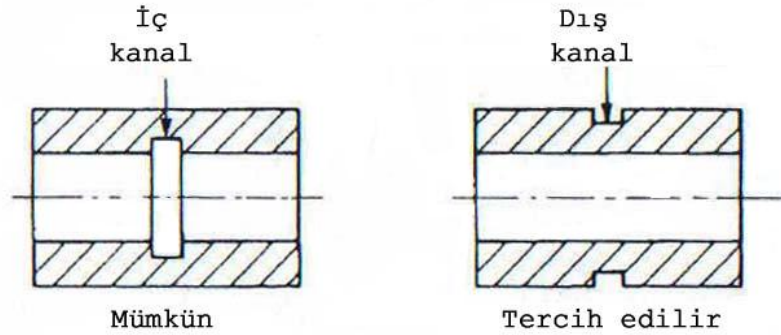
Yüzey kalitesi X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar) X Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı

25) Vida çekme tezgahlarında standart takım kızakları iş parçası eksenine dik olacak şekilde çalıştılarından iç yüzeyde veya dış yüzeyde açılı bir dip köşe kanalı açma işlemi zor olacağı için bu işlemlerden mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Dairesel kanalların parçanın dış yüzeyine açılması iç yüzeyine açılmasından daha kolaydır. Dış kanallar form takımlarla açılabilir, fakat iç kanallar için eksensel ve radyal hareket edebilen takımlar gerekmektedir (Şekil 5-11). Seçim yapabilme imkanı olduğunda parçaları dış kanalları olacak şekilde tasarlayınız (Şekil 5-12). Örneğin açılı dip kanal açma işlemlerinin gerçekleştirilmesi için birçok eksenle eş zamanlı ilerlemeye imkan sağlayan elektronik kontrollü programlanabilir konumlama sistemlerine (servo motor + sürücü + programlanabilir işlemci + yazıcı vs.) ihtiyaç vardır. Bu sistemler de parça maliyetini yükseltici yönde etki ederler. İşleme yüzeyinin kolay ulaşılabilir olmaması o yüzeye ulaşabilmek için özel takımlar geliştirilmesine veya birden fazla takım kullanılmasına neden olabilir.



Şekil 5.11 Dip kanal oyma. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)



Şekil 5.12 Dairesel parçalarda dış kanallar daha çok tercih edilir. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

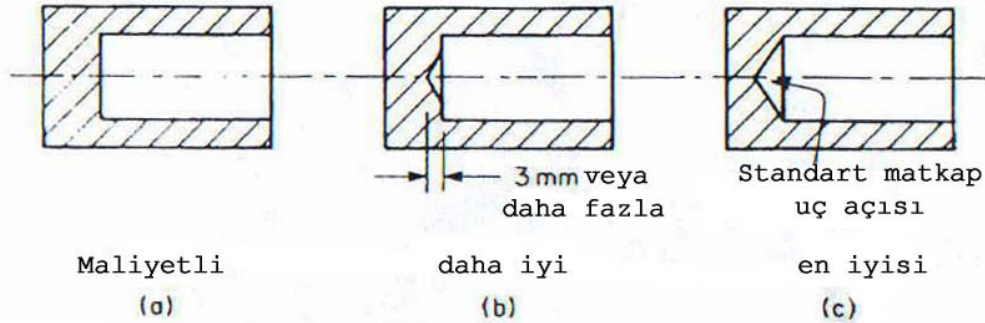
İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti

İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X İşlem için kullanılan farklı takım sayısı

İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X Ekonomik parça sayısı

Parçanın karmaşıklığı X Kesici uç maliyeti

26) Kör deliklerin dip noktalarının şekli, matkapların standart uçları ile aynı olacak şekilde tasarlanmalıdır. Tabanı düz delikler istendiğinde (Şekil 5.13) 3 mm derinliğinde bir matkap ucu kullanınız. Gerektiğinde derin kör delikler elde edilebileceği gibi kör deliğin boyunu çapın 3 – 4 katı ile sınırlamak doğrudur. Örneğin kör deliklerin tabanları mümkün mertebe koni şeklinde tasarlanmalıdır. Bu hem delik genişletme işlemleri sırasında talaşlar için boş alan yaratacak, hem de tabanı düzleştirmek veya farklı bir şekil alabilmesi için gereken işlemleri ortadan kaldıracaktır. Özel talepler olmadığı hallerde kesme kuvvetlerinin takım üzerinde yaratacağı sehimin delik formunu bozmaması için delik derinliği fazla uzun tutulmamalıdır. Aynı zamanda delik boyunun sınırlı tutulması talaşın uzaklaştırılmasını kolaylaştıracak böylece yüzey kalitesi de yükselecektir. Kullanılacak özel form takımlar sayesinde farklı takım sayısı azaltılabilir fakat burada form takım ile birçok farklı takımın maliyetleri karşılaştırılmalıdır.)



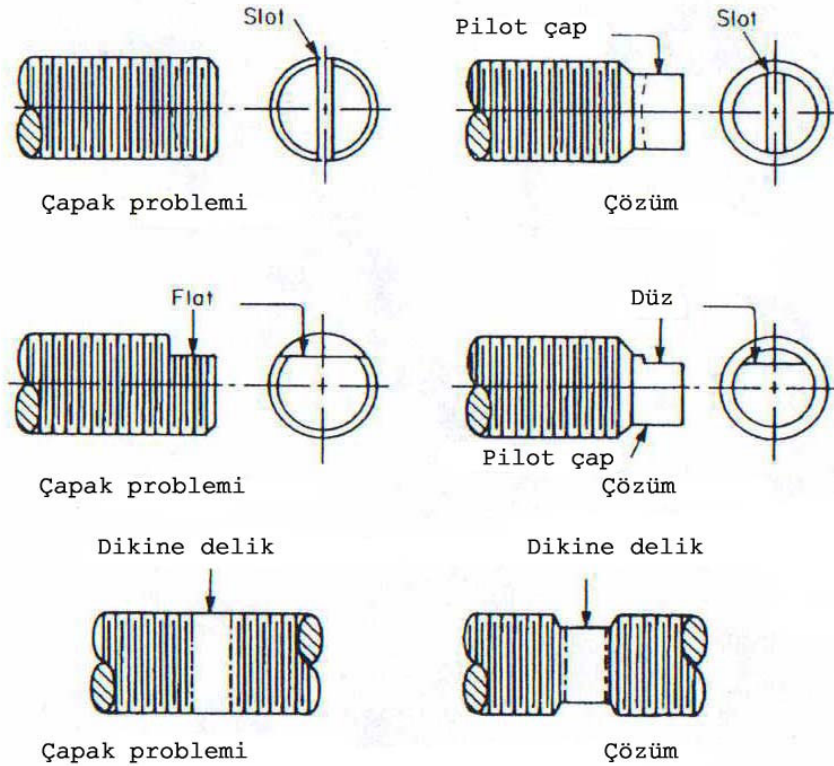
Şekil 5.13 Standart matkap formları ek işlemlerden kurtaracaktır. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Parçanın karmaşıklığı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

En-boy, çap-derinlik oranları X Farklı imalat yöntemi gereksinimi

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği
Farklı takım sayısı X Kesici uç geometrisi

27) Çubuk işleme tezgahı ürünlerinin en genel özelliklerinden biri iç veya dış yüzeylere çekilmiş dişlerdir. Haddeme ile çekilmiş dişler, vida çekme tezgahında işlenerek elde edilen dişlere tercih edilir. Bu yüzden tasarımlar buna göre yapılmalıdır. Resimde başka yüzeylerle kesişen dişlerin olduğu yerlerde çapak oluşumunu önlemek için gerekli öneriler verilmiştir.(şekil 5.14) Örneğin haddeme ile çekilen dişler talaşlı imalatla işlenen dişlere nazaran daha yüksek mukavemetli olurlar. Ayrıca daha kısa sürede üretilmeleri de başka bir avantajdır. Üretim sırasında talaş kaldırma işlemi olmadığı için çapak oluşumu da söz konusu değildir.



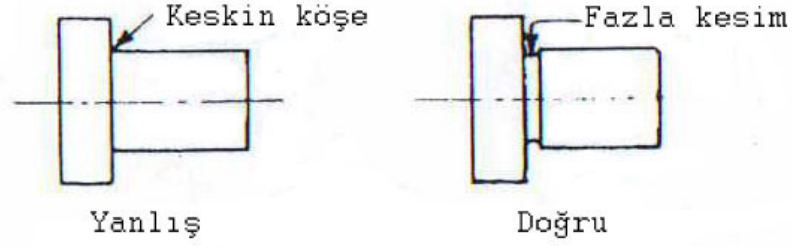
Şekil 5.14 Diş açılmış yüzeylerde başka işlem yapılmamasına dikkat edilmelidir. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti X Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı
Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X İşlemin gerektirdiği bilgi ve beceri düzeyi

28) Tırtıllı yüzeyler dar tutulmalıdır. Genişlikleri o bölgenin çapını geçmemelidir. Tırtıl çekme işlemi sonucu önceden belirlenen kesin bir diş sayısı elde edilemez. Bu yüzden tipik bir çizimde, üreticiye rehber olması için; tırtıllı yüzeyin bir inçteki yaklaşık diş sayısı veya dişlerin genel olarak boyutu (kaba, orta, ince), tırtılın tipi (düz, çapraz, baklava biçimli) ve kullanım amacı (tutmak amaçlı, görünüm amaçlı, sıkı geçme) verilmelidir. Örneğin tırtılların yerine getireceği genel fonksiyon kaymayı önlemek, güvenli bir tutma alanı yaratmaktır. Bu yüzden bu alanlara özel hassasiyet göstermek genelde gereksizdir. Sadece çok küçük taneli mi yoksa iri taneli mi istendiğinin belirtilmesi yeterlidir. Bu işlemin diş açma gibi işlemlere entegre edilmesi zamandan da tasarruf sağlayabilir.

Talaşlı imalat sonrası göreceği diğer işlemlerin ihtiyaçları X Ekonomik parça sayısı
Optimum işlem parametrelerine yakınlık X Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti
İşlem sonrası ölçüm ve kontrol ihtiyacı X Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu)

29) Çubuk işleme tezgahında işlenen parçaların tasarımında keskin köşelerden kaçınılmalıdır. Keskin köşeler, iç veya dış yüzeylerde, mukavemetin azalmasına veya form takımların maliyetlerinin artmasına neden olur. Keskin bir köşe gerektiğinde, parçanın fonksiyonel ihtiyaçlarını karşılamaya oldukça yakın olacak şekilde belirli limitler içinde bu köşeler yapılabilir. İstenmeyen keskin köşeler oluştuğunda üretimde sıkça kullanılan 4 mm 45°'lik bir pah kırılabilir. Keskin köşelerden kaçınılması bir dip köşede bir dip köşe kanalı açma işlemi sayesinde gerçekleştirilebilir. Bu işlem takımın formu kullanılarak elde edildiği takdirde kaçınılmaz olarak oluşacak radyüsü önleyecektir (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 Keskin köşeler mukavemet açısından problemli bölgelerdir. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

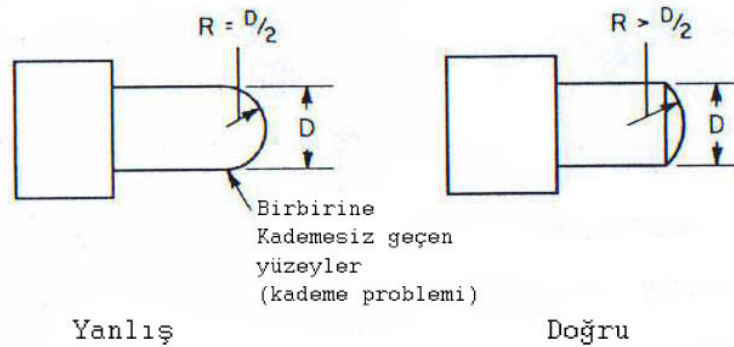
Farklı takım sayısı X Optimum işlem parametrelerine yakınlık

(şekilsel açıdan; takım sayısı azaltıldıkça, eğer özel form takım kullanma durumu yoksa optimum işlem parametrelerinden uzaklaşılır.)

İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X Farklı takım sayısı

İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X Ekonomik parça sayısı

30) Çubuk işleme tezgahının bir ürününde küresel bir uç nokta istendiği durumlarda, küresel uç noktanın yarıçapı silindirik parçanın yarıçapından büyük olmalıdır. Bu işlem genellikle farklı takımlar kullanılarak yapılan, iki yüzeyin tam olarak eşmerkezli olmalarının çok zor olduğu yüzey birleştirme işlemini ortadan kaldırır. İki yüzeyi birbirine birleştirme işlemi çok hassas konumlama özelliğine sahip tezgahlar gerektirmektedir. Bu yüzden küresellik taleplerini yerine getirebilecek yan yüzeylerle birleşmeyen silindirik yüzeyler tercih edilmelidir.



Şekil 5.16 kademesiz geçiş işlem süresini ve maliyetleri arttıracaktır. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Yüzey kalitesi X Ekonomik parça sayısı

işlemin gerektirdiği bilgi ve beceri düzeyi X Ekonomik parça sayısı

Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti X Ekonomik parça sayısı

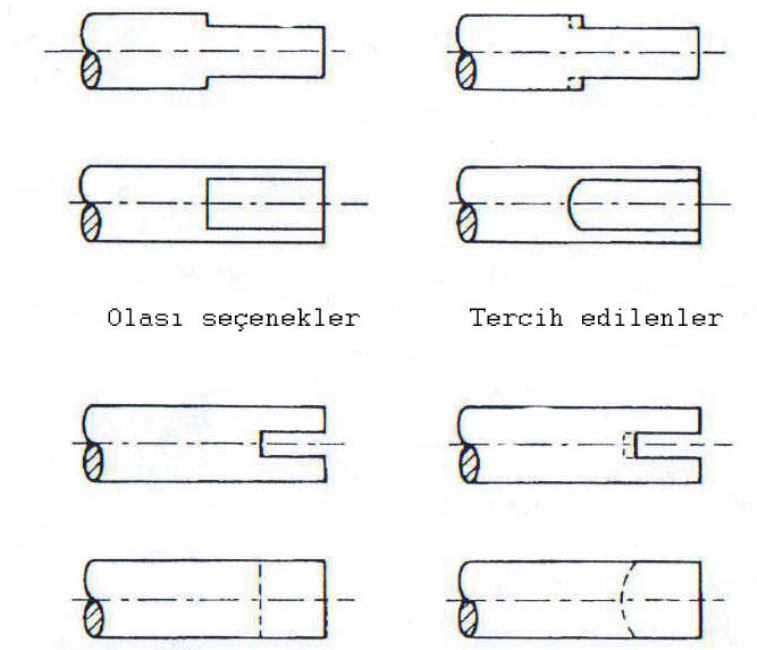
Farklı imalat yöntemi gereksinimi X Ekonomik parça sayısı

Farklı imalat yöntemi gereksinimi X Tezgah maliyeti

Parçanın karmaşıklığı X Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu)

Optimum işlem parametrelerine yakınlık X Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti

31) Kanalların ve düzlem yüzeyler başlangıçları ve sonları kullanılan freze kafasının çapı ile aynı ölçüde içbükey olacak şekilde üretilebilirler. Freze kafasının kanalın açıldığı yöne dik olacak şekilde ileri geri (sağa sola) oynatılması sonucu kanalın son kısmı düzleştirilebilir.



Şekil 5.17 Kanal dipleri freze çıkısının formunda bırakılabilir. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

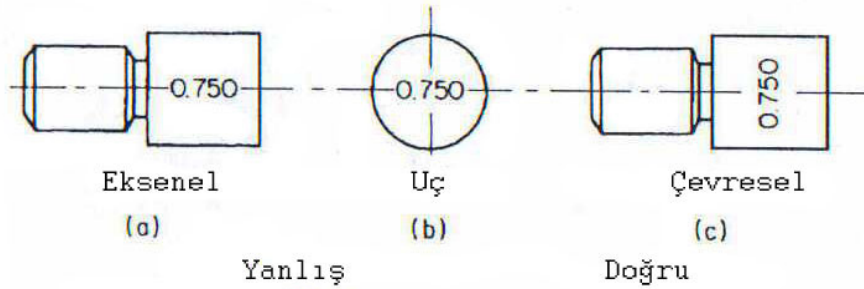
Eğer parçanın fonksiyonu kanalın sonunda veya dibinde düz bir yüzey gerektirmiyorsa üretilmesi daha kolay olan içbükey bir yüzey tercih edilmelidir. Eğer kanalda hareket etmesi planlanan parça kanalın sonuna kadar ilerlemeyecek, kanal dibine dokunmayacak ise kanal dibinin özel olarak işlenmesi gerekmez. Bu yüzey kanalın işlenmesi sırasında aldığı doğal şekliyle bırakılabilir. Mesela herhangi bir mafsalda açılan kanalın sadece küçük bir kısmı bağlantı amaçlı kullanılacak ise geriye kalan kısım için özel işlem yapmaya gerek yoktur (Şekil 5-17).

Ekonomik parça sayısı X Parçanın diğer parçalara montaj rahatlığı

Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu) X Ekonomik parça sayısı

İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X Optimum işlem parametrelerine yakınlık

32) Eğer çubuk işleme tezgahı ürünlerinde şekildeki gibi (Şekil 5.18) silindirik markalama kullanılırsa, baskı markalama temel operasyonların bir parçası olarak yapılabilir. Diğer markalama pozisyonları ekstra takımlar ve işlemler gerektirir. Parçanın çevresi boyunca yapılacak bir markalama zaten dönmekte olan bir parça için oldukça kolay bir işlem olacaktır. Dairesel olmayan işlemler için ya konumlama zor olacaktır veya parçayı komple tezgahdan sökmek gerekecektir.



Şekil 5.18 Silindirik markalama daha net ve kolay markalamaya olanak tanır. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

İşlemin toplam süresi X Farklı takım sayısı

Farklı imalat yöntemi gereksinimi X Takım değiştirme süresi

Talaşlı imalat sonrası göreceği diğer işlemlerin ihtiyaçları X Ekonomik parça sayısı

Farklı imalat yöntemi gereksinimi X Ekonomik parça sayısı

33) Tasarımcılar, üretim miktarları yeterince fazla ve parçanın geometrisi uygun olduğu takdirde özel şekillendirilmiş çubuk malzeme kullanımını göz önünde bulundurmalıdır. Bu malzeme parçanın son şekline göre haddelenmiş, derin çekilmiş veya ekstrüzyonla şekillendirilmiş olabilir. Gerektiğinde çubuk işleme tezgahına özel profilleri tutabilecek aparatlar takılabilir. Burada parçanın dış yüzey kalitesi ile özel bir talep yoksa haddeleme veya döküm ile elde edilmiş yüzey fazladan bir işlem yapılmadan kullanılabilir. Bu duruma en iyi örnek ekstrüzyon ile üretilmiş pnömatik veya hidrolik silindir gövdeleridir. Yüzey kalitesi ile özel talepler olması durumunda ise dış yüzeyin önceden şekillendirilmiş olması yapılacak talaş kaldırma işlemini azaltacaktır.

Farklı imalat yöntemi gereksinimi X Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar)

İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi X Talaşlı imalat öncesi ve sonrası göreceği diğer işlemlerin ihtiyaçları

İşlemin toplam süresi X Ekonomik parça sayısı

34) Tasarım, çapların değiştiği noktalarda kanallarda, pah kırılan yerlerde standart takım geometrilerine uygun olmalıdır. Bu noktalarda köşelerdeki radyüslerin o yüzeyi işlemede kullanılan kesici ucun uc radyüsü ile aynı olması fazladan kesici uç ihtiyacını ve bu uç için gerekecek uç değiştirme süresini ortadan kaldıracaktır.

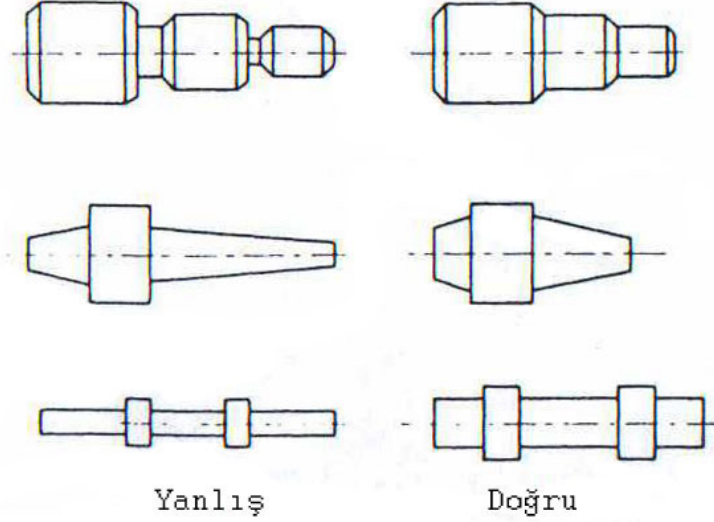
Takım değiştirme süresi X Farklı takım sayısı

Farklı takım sayısı X Kesici uç geometrisi

Farklı takım sayısı X Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar)

35) Tasarım kesici takım yüzünden oluşabilecek bir eğilmeyi engellemek için; desteksiz, narin, küçük çaplı bölgelerde yapılacak işlemleri engellemelidir. Bu anlamda parçaları olabildiğince kısa tutmak yardımcı olacaktır. Kısa ve kalın parçalar, puntalama veya

destek isteyen uzun ve ince parçalara nazaran işlenmesi daha kolay parçalardır (Şekil 5.19). Narin parçaların işlenmesinde kesme kuvvetleri parçayı eğmeye zorlayacak sonuç olarak da parçanın şeklinde bozulma olacaktır.



Şekil 5.19 Parça geometrisinin rijitliğe etkisi. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Burada malzeme sertliği de önem taşımaktadır. Parçaya talaş kaldırma işlemi sırasında uygun yerden destek yapılması oluşacak sehimi büyük ölçüde azaltabilir. Ayrıca işlem parametrelerinin de (kesici uç geometrisi vb.) kesme kuvvetini azaltacak şekilde ayarlanması oluşacak sehimi azaltacaktır.

Optimum işlem parametrelerine yakınlık X Malzemenin sertliği ve kopma mukavemeti
işlemin gerektirdiği bilgi ve beceri düzeyi X Optimum işlem parametrelerine yakınlık
Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti X Tezgah maliyeti
Optimum işlem parametrelerine yakınlık X Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti

36) Mümkün olduğunca kesik kesik ve düzensiz bir talaş kaldırma işlemini gerektiren tasarımlardan kaçınılmalıdır. Kesişen deliklerin açılması, eğik yüzeylerin matkapla delinmesi, tornalama öncesi tornalanacak yüzeyde açılan delikler veya kanallar bu durumun

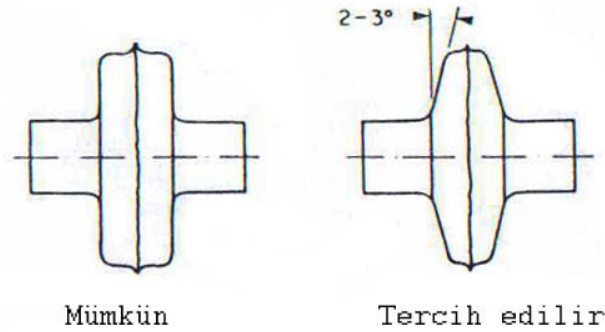
örnekleridir. Darbeli veya simetrik olmayan kesme işlemi kesici uçta ve parça üzerinde değişken bir yük meydana getirecektir, sonuç olarak kesici ucun ömründe azalma, parçada veya kesici uçta kırılma meydana gelebilebilecektir.

Uygun şekilsel tasarım X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

Optimum işlem parametrelerine yakınlık X Tezgahın rijitliği

Parçanın tezgaha bağlanabilme rahatlığı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

37) Dökülmüş veya haddelenmiş parçalar büyük faturalar veya işlenecek alın yüzeyler içeriyorsa bu yüzeyler normal ile 2-3 derecelik açılar bırakmalıdır. Böyle bir eğim kesici takımlar için bir boşluk açısı yaratacaktır. Bırakılan boşluklar kesici ucun işlenmiş yüzeye sürtmesini engeller, ayrıca kopan talaşlarında parça ile kesici uç arasına sıkışmasını engelleyerek yüzey kalitesinin bozulmasını önler. Bu açının bırakılması katerin bağlanma şekli veya tezgahın konumlaması ile sağlanır (Şekil 5.20)



Şekil 5.20 Döküm parça tasarımında boşluk açılarının bırakılması (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

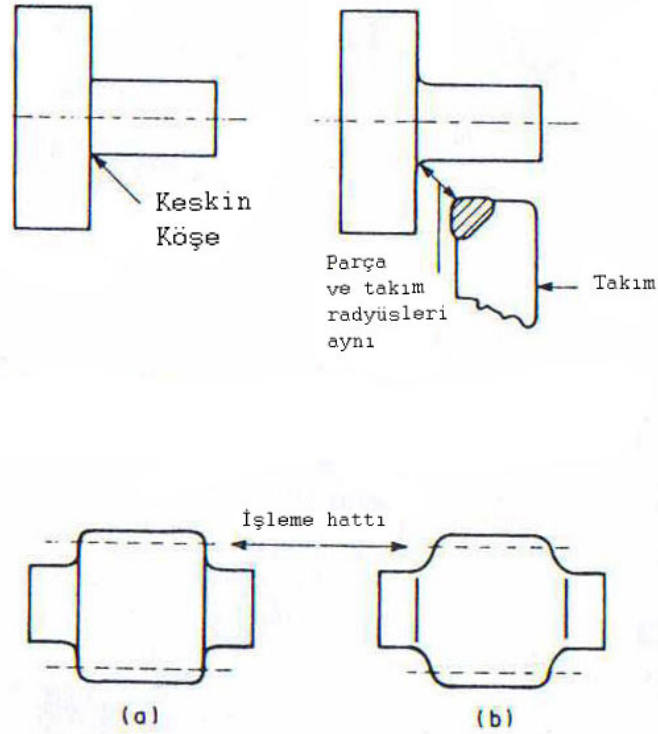
Optimum işlem parametrelerine yakınlık X Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı

İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi X Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı

İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti X Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı

38) Radyüsler parçanın fonksiyonu için kritik değilse, standart takım köşe radyüslerine uygun ve büyük olmalıdır. Radyüs genellikle üretimin tercihlerine bırakılabilir. Tasarımdaki tüm radyüslerin aynı ölçüye sahip olması buna bağlı olarak da kesici ucun parça üzerindeki tüm radyüsleri işleyecek şekilde seçilmesi kesici uç sayısını dolayısıyla da kesici uç maliyetini düşürecektir. Ayrıca uç değişimi sırasında oluşan kayıp zamanlar da ortadan kalkacaktır. Fonksiyonel açıdan çok özel durumlar olmadığı sürece tasarımcı radyüslerle ilgili sınırlandırmada bulunmamalıdır. Takımın ucunun şekli ile oluşturulamayan radyüsler konumlama açısından yüksek konumlama özellikleri gerektiren yüzeylerdir (Şekil 5.21).



Şekil 5.21 Keskin köşeler uç radyüsünün büyük olması ile engellenebilir. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Uygun şekilsel tasarım X Kesici uç maliyeti

Kesici uç geometrisi X İşlemin toplam süresi

Kesici uç geometrisi X Farklı takım sayısı

Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu) X İşçilik maliyeti

Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti X Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu)

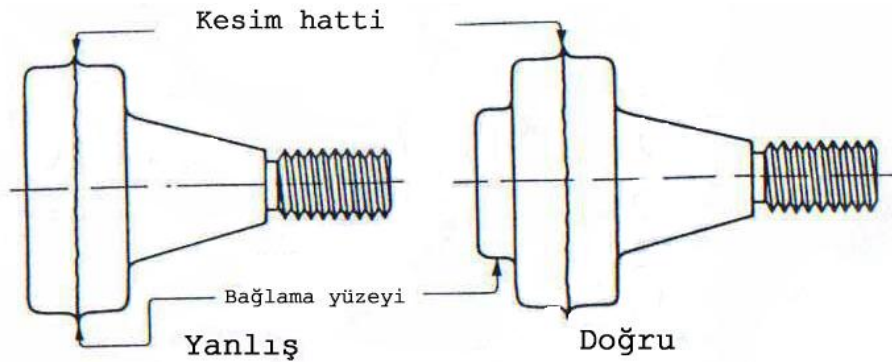
39) Keskinliğin veya çapakların parça fonksiyonu için tehlikeli veya dezavantajlı olduğu yerlerde, keskin köşelere için pah kırılmalıdır. Bu anlamda parça tasarımı tamamen tanımlanmış olmalıdır. Örneğin pah kırma işlemleri oldukça maliyetli olduğu için eğer bu gerçekten gerekli değilse “ Bütün köşelere pah kırılmalıdır” gibi bir ifade yer almamalıdır. Keskin köşeler ve çapak oluşumu pahlar veya yuvarlatılmış köşeler diğer yüzeylerin kesişimine konumlandırılırsa en aza indirilebilir. Genellikle bu tip yuvarlatmalar veya pahlar talaş kaldırma işlemi öncesinde döküm veya dövme işlemi ile elde edilebilir. Pah kırma işleminin kullanıldığı yerlerden biri de montaj işleminin kolaylığı açısından oto-konumlama sağlamak açısından birbirine gecen parçaların montaj başlangıç yüzeyleridir. Burada, montajda karşılaşılan zorluk ile pah kırmanın maliyeti karşılaştırılmalıdır.

Parçanın diğer parçalara montaj rahatlığı X İşlemin toplam süresi

Farklı imalat yöntemi gereksinimi X Ekonomik parça sayısı

Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu) X Parçanın karmaşıklığı

40) Parça kesim yerleri, dökümle elde edilen kaba açılar ve döküm izleri parça bağlama veya konumlandırma yüzeyi olarak kullanılmamalıdır. Parça kesimi veya döküm sonrası oluşan bu yüzeyler konumlama açısından tezgaha bağlama sırasında hatalı konumlandırma ve referans almaya neden olur.



Şekil 5.22 Bağlama yüzeylerinin pürüzsüz olması. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

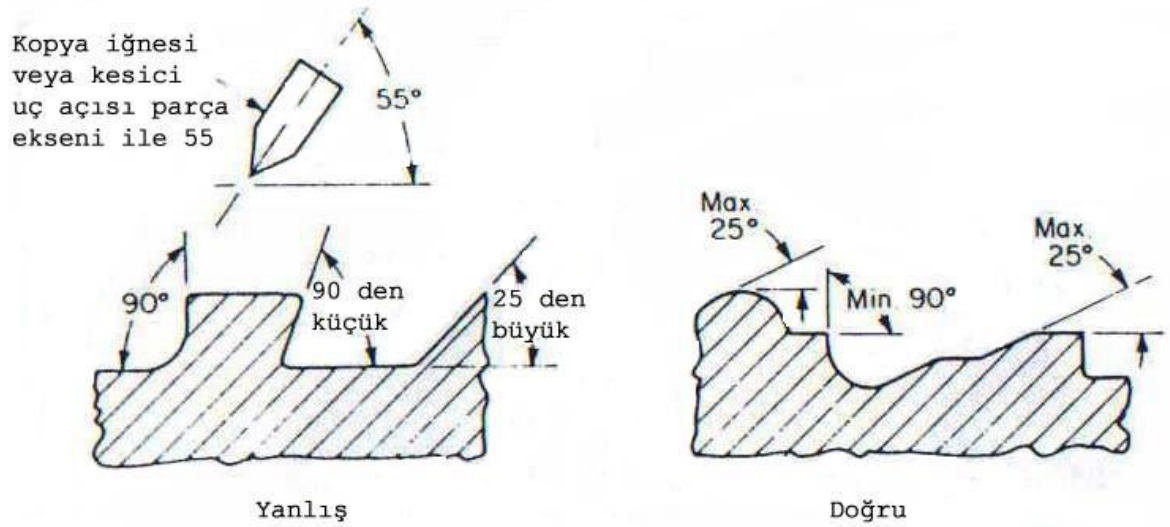
Arada kalabilecek talaş veya döküm çıkıntıları parçanın eğik bağlanmasına neden olabilir (Şekil 5-22)

İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi X Yüzey kalitesi

İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi X Parçanın tezgaha bağlanabilme rahatlığı

Yüzey kalitesi X Parçanın tezgaha bağlanabilme rahatlığı

41) Kopya tornalama uygulanacak bir parçada, tornalanacak profil kolayca erişilebilir ve en az sayıda takım ve uç değişimini gerektirecek şekilde olmalıdır. Paralel veya basamaklı alın yüzeylere sahip kanalların tek seferde üretimi makul değildir. Köşelerde oluşacak kanallarda önlenmelidir. Şekil 5-23 55° eğimli duran bir kesici takım için uygun profili göstermektedir. Şekil 5-24 parça eksenine dik çalışan kesici takımlar için uygun profili göstermektedir.

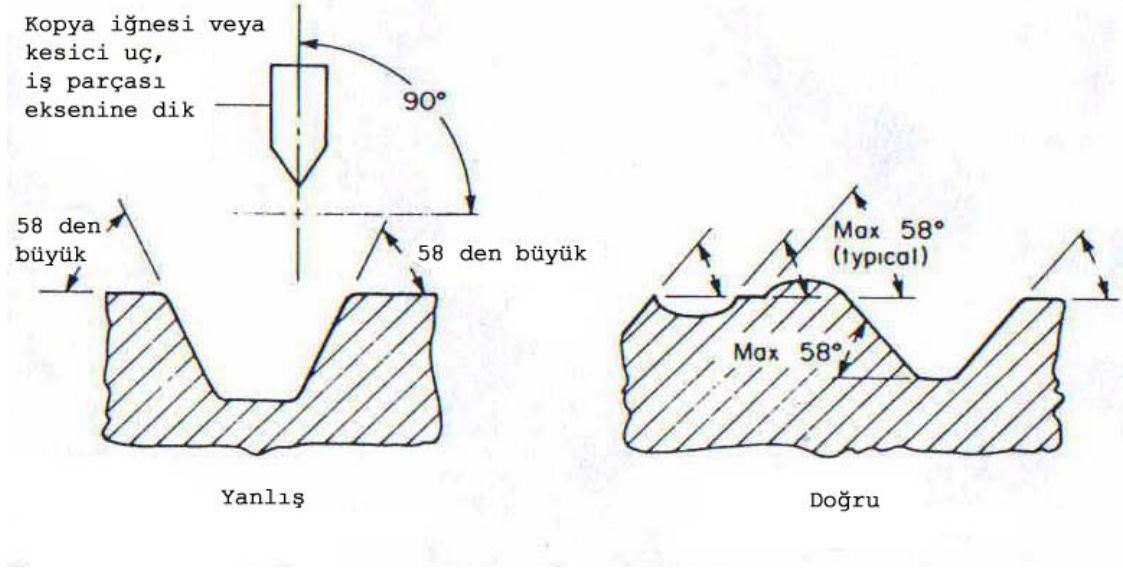


Şekil 5.23 Kesici ucun erişilebileceği yüzey sınırlarına göre tasarım. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Farklı takım sayısı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

Kesici uç geometrisi X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

Uygun şekilsel tasarım X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği



Şekil 5.24 Kesici ucun uç değişimini en az sayıda tutmak (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

42) Delinecek deliğin doğru yerde açılmasının sağlanmasına yardım etmek ve delme işlemi başında oluşacak problemlerin önlenmesi amacıyla matkap ucunun parçaya giriş yüzeyi matkap ucuna dik olmalıdır. Matkap ucunun parça yüzeyine eğik olarak girmesi, darbeli bir kesme işlemine dolayısıyla da delik yüzeyinde bozulmaya yol açar, ayrıca darbeli kesme işlemi kesici ucun ömrünü kısaltır, uç kırılmalarına yol açabilir.

Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar) X Optimum işlem parametrelerine yakınlık

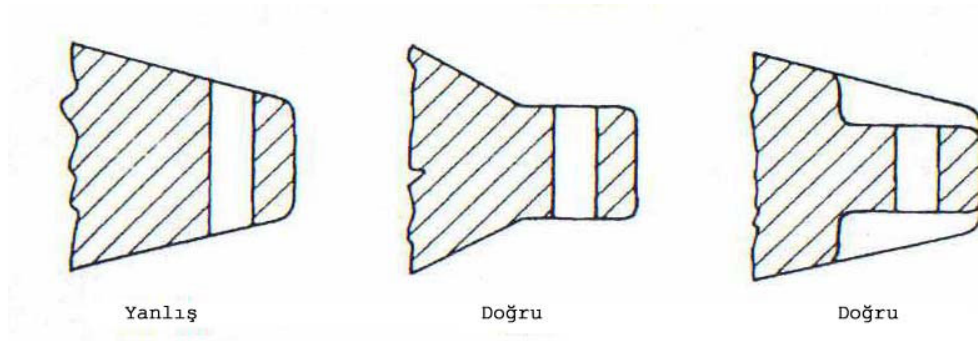
Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar) X Kesici uç maliyeti

Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar) X Kesici ucun ömrü

Tezgahın rijitliği X Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti

İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi

43) Matkap ucunun parçadan çıkış yüzeyi, ucunun parçadan çıkışı sırasında kırılmasını engellemek amacıyla, ucun eksenine dik olmalıdır. (Şekil 5.25)



Şekil 5.25 Parça yüzeyi matkap eksenine dik olmalıdır. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi

Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar) X Optimum işlem parametrelerine yakınlık

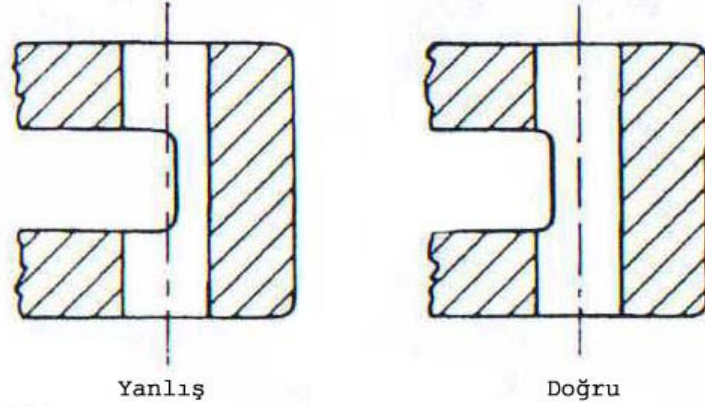
Kesici uç maliyeti X Uygun şekilsel tasarım

Kesici ucun ömrü X Uygun şekilsel tasarım

Tezgahın rijitliği X Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti

44) Deliğin doğrusallığı nispeten daha önemli ise, her tekrar delme başlama yüzeyine kılavuz yatak koymak mümkün olmadığı sürece kesikli delme işleminden kaçınılmalıdır. Matkap işlem sırasında bir tarafta başka bir açıklıkla karşılaşırsa bir miktar sehim meydana gelecektir. Doğrusallığın kritik olmadığı durumlarda bile matkabın merkez noktasının malzeme içinde bulunması aşırı sehimin ve takım kırılmasının önlenmesini sağlayacaktır. Matkapla yapılan uzun delme işlemlerinde, matkap ucu mesafeye ve delinen yüzeyin şekline bağlı olarak sehim gösterecektir. Burada sehimin en büyük nedeni matkabın bir delme işlemi değil, yüzey frezeleme gibi bir işlem yapmasıdır. Fonksiyon gereği özel

delikler gerekmediği sürece standart matkapla işleme kurallarına uyulması işlemi kolaylaştıracaktır (Şekil 5.26).



Şekil 5.26 Matkap eksenini herhangi bir boşlukla karşılaşmamalıdır. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar) X Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu)

Kesici ucun ömrü X Uygun şekilsel tasarım

Kesici uç maliyeti X Uygun şekilsel tasarım

45) En iyi seçim mümkün oldukça özel matkapların taşlama masraflarından kaçınmak için standart matkap boyutlarının kullanılmasıdır. Standart uçların kullanımı kesici uç maliyetini düşürecek, aynı zamanda takım kırılması veya körelmesi gibi durumlarda yeni takım üretilene kadar kaybedilecek zamanın önüne geçecektir.

Uygun şekilsel tasarım X Kesici uç maliyeti

Kesici uç maliyeti X Farklı takım sayısı

46) Açık delikler kör deliklere göre tercih edilir çünkü özellikle raybalama, Tapping veya honlama gibi ikincil işlemler gerektiren durumlarda talaş ve takımlar için boşluk alanları

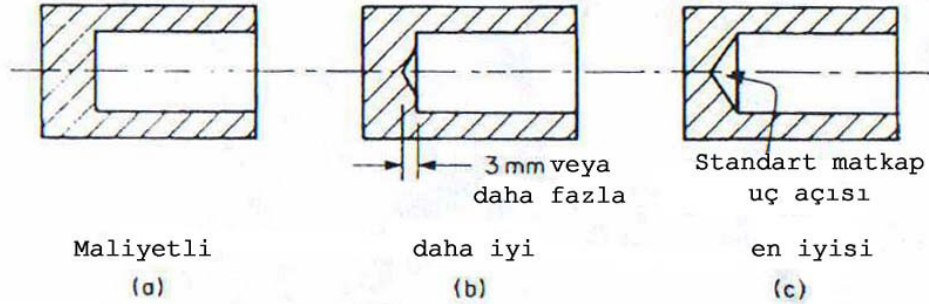
içerirler. Talaşın boşaltılması özellikle derin deliklerde problemli olabilir, bu problemin önüne geçmek için yer çekiminin etkisinden faydalanan “açık delikler” kullanılır. Delik genişletme işlemlerinde de önceden açılmış küçük çaplı açık delikler talaşın ve soğutma sıvısının ortamdaki uzaklaştırılmasına yardımcı olur.

Kesici ucun ömrü X Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar)

İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı

47) Kör delikler tanımlandığında, dip noktaları düzlem yüzey olmamalıdır. Tercih edilen matkap ucu noktalı bir delik yaratır, eğer başka taban yüzeyleri tanımlanmışsa ikincil işlemlere gerek vardır. Düz tabanlı matkap uçları aynı zamanda raybalama işleminde de probleme neden olur çünkü raybalar düz bir tabana sahiptir ve talaşların uzaklaştırılması veya uçların kırılmasının önlenmesi için boşluğa ihtiyaç duyarlar (Şekil 5.27).



Şekil 5.27 Delik delme işlemlerinde delik dibinde boşluk bırakılmalıdır. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

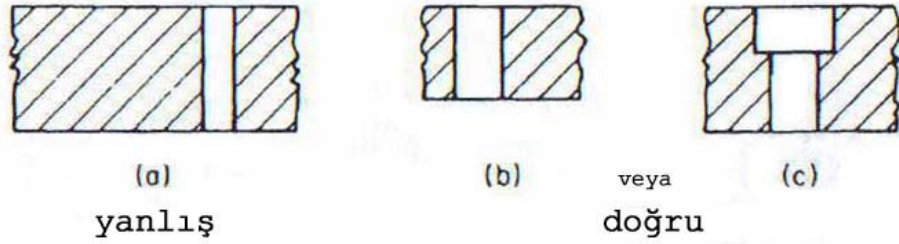
Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X Kesici uç geometrisi

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X Uygun şekilsel tasarım

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X Kesici uç maliyeti

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X Kesici ucun ömrü

48) Talaş boşluğu problemlerinin ve doğrusallıktan sapmaların önlenmesi amacıyla derin deliklerden kaçınınız (maksimum uzunluk delik çapının 3 katı olmalıdır). Ancak oldukça derin delikler (namlu delikleri) namlu matkapla delinebilmektedir ki bu işlemler farklı takımlar, ekipman ve teknikler gerektirirler. Namlu matkapları çok maliyetli değildirler ancak yine de özel bir operasyon gerektirirler, bu nedenle de mümkün oldukça kaçınılmalıdır (Şekil 5.28).



Şekil 5.28 Tek seferde çok derin deliklerden kaçınılmalıdır (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X Kesici uç geometrisi

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X En-boy, çap-derinlik oranları

Uygun şekilsel tasarım X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

49) Çok küçük delik boyutları gerçekten gerekli değilse parçalar tasarlanırken çok küçük deliklerden kaçınılmalıdır (küçük matkap uçları kırılmaya daha müsaittir). Güvenli bir üretim için izin verilen en küçük matkap çapı 3 mm'dir.

Kesici uç maliyeti X Uygun şekilsel tasarım

İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X Kesici ucun ömrü

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X Uygun şekilsel tasarım

50) Eğer çok büyük işlenmiş delikler isteniyorsa matkapla delme işlemi öncesi bu yüzeylerin dökümle hazırlanmış olması istenir. Bu hazırlık hem malzeme tasarrufu sağlar hem de matkapla delme işlemi için gereken enerjiyi azaltır (Örneğin motor bloklarında

silindir boşlukları bu şekilde üretilebilir. Bu şekilde büyük deliklerin dökümle elde edilmesi aynı zamanda işleme süresini kısaltarak maliyetin düşmesine katkıda bulunacaktır).

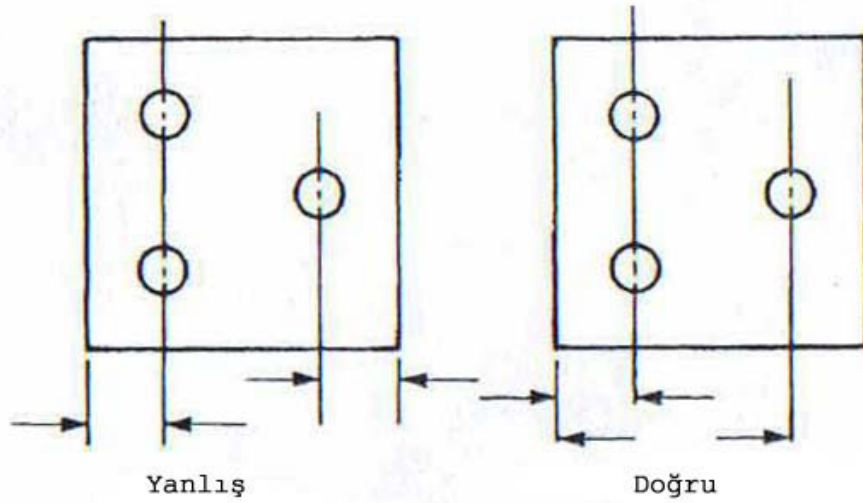
Uygun şekilsel tasarım X Kesici uç maliyeti

İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi X Kesici uç maliyeti

İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi X Malzeme maliyeti

İşlemin toplam süresi X İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi

51) Parça, matkapla işlenmiş birçok delik gerektiriyorsa, bağlama kolaylığı sağlamak amacıyla delikler aynı düzlem üzerinde boyutlandırılmalıdır (Şekil 5.29).



Şekil 5.29 Referans yüzeyin tüm delikler için aynı seçilmesi (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

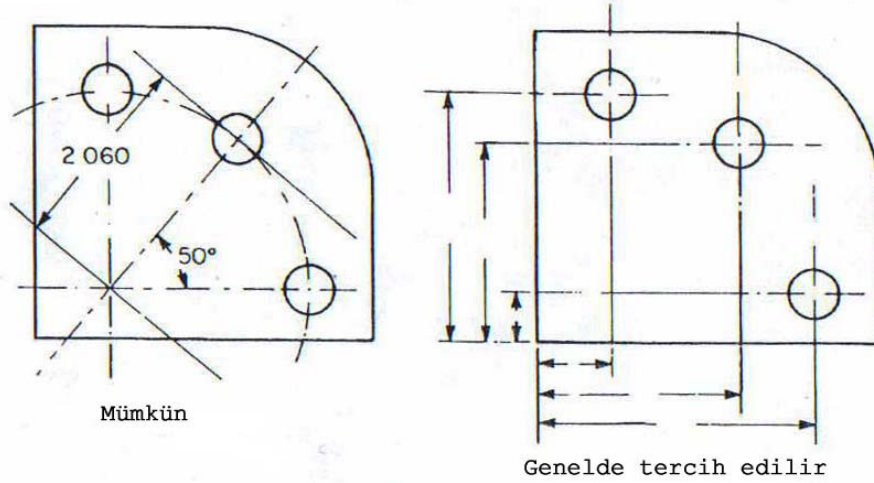
Parçanın tezgaha bağlanabilme rahatlığı X İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi

İşlemin toplam süresi X İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi

Parçanın tezgaha bağlanabilme rahatlığı X İşlemin toplam süresi

Parçanın tezgaha bağlanabilme rahatlığı X Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar)

52) Matkapla delinen, raybalanan veya delik işleme tezgahında işlenen deliklerin yerlerinin belirlenmesinde açısal koordinatlara nazaran kartezyen koordinatlar tercih edilmelidir. Kartezyen koordinatlar çalışanın parçayı yerleştirmesi veya bağlaması yönünden daha kolay ve hatayı azaltıcı özelliktedirler. Günümüzde CNC tezgahların birçoğunda açısal ve kartezyen koordinatlara göre konumlama imkanı sunulmuş olmasına rağmen, kartezyen koordinatlar daha çok tercih edilir hale germiştir. Mesafe hesabının açı hesabına göre kolay olması bu seçimde önemli bir etkindir (Şekil 5.30).



Şekil 5.30 Kartezyen koordinatlar açısal koordinatlara göre daha kolay kullanılabilirler. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Tezgahın otomasyon derecesi X Optimum işlem parametrelerine yakınlık
işlemin gerektirdiği bilgi ve beceri düzeyi X Parçanın tezgaha bağlanabilme rahatlığı
Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti X Optimum işlem parametrelerine yakınlık
İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti

53) Parça üzerindeki delikler mümkün olduğunca tek taraftan delinecek veya en az sayıda yüzeyden delinecek şekilde tasarlanmalıdır. Deliklerin aynı tarafta toplanması tek bağlamada birçok deliğin delinmesini sağlar, bunun yanında geliştirilebilecek bir aparat ile aynı anda birden fazla delik delinebilir.

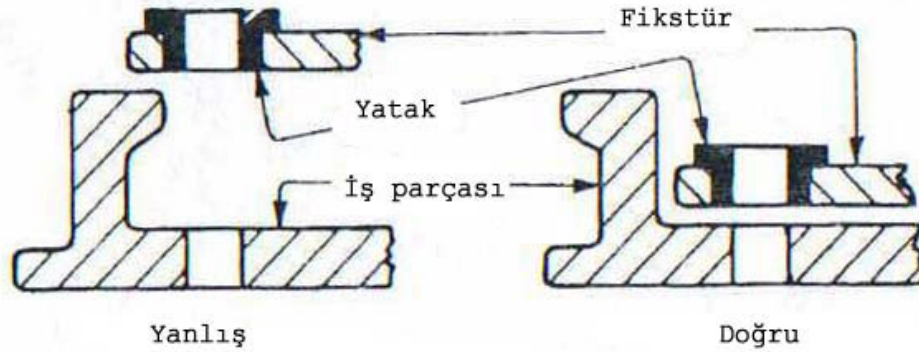
İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X Uygun şekilsel tasarım

Uygun şekilsel tasarım X İşlemin toplam süresi

Parçanın tezgaha bağlanabilme rahatlığı X Uygun şekilsel tasarım

Ekonomik parça sayısı X İşlemin toplam süresi

54) Matkapla delinecek parçalar deliğin başladığı yüzeyin yakınına kılavuz burç yerleştirilebilecek şekilde tasarlanmalıdır (Şekil 5.31). Derin deliklerin delinmesinde kılavuz kullanılması deliğin doğrusalılığı açısından önem taşımaktadır. Kılavuzun büyüklüğüne bağlı olarak delik başlangıç noktası civarında yeterince boşluk olmalıdır. Kılavuz kullanımı titreşimi azaltacağı için yüzey kalitesini de iyileştirecektir. Matkapla delinmiş bir deliğin etrafında bulunan bir çıkıntı mevcut ise matkap kafası iş parçasına çok fazla yaklaştıramaz. Bu da matkap ucunun titreşmesine, iş parçası üzerinde gezinmesine ve benzer dengesizliklere yol açacaktır. Bu problem bir kılavuz burç kullanılması ile çözülebilir. Ancak burada tasarımın bu burcun bağlanabilmesine olanak sağlaması gerekir.



Şekil 5.31 Delik delmede işlenecek bölge etrafında yeterince boşluk bırakılması. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X Uygun şekilsel tasarım

Uygun şekilsel tasarım X Toleransların kalitesi

Optimum işlem parametrelerine yakınlık X Uygun şekilsel tasarım

55) Deliklerin, bağlama elemanlarının ve diğer vida dişlerinin boyutları olabildiğince standartlaştırılmalıdır. Böylece gerekli olan matkap aynası, matkap ucu değişimlerinin sayısı en az da tutulabilir.

Takım değiştirme süresi X Uygun şekilsel tasarım

Uygun şekilsel tasarım X Kesici uç maliyeti

Uygun şekilsel tasarım X İşlemin toplam süresi

Farklı takım sayısı X Uygun şekilsel tasarım

56) Üretim miktarları çoklu delme düzeneklerini kullanacak kadar büyükse, tasarımcı aynı anda delinebilecek iki deliğin birbirlerine en yakın yerleştirilmesinde bazı sınırlamalar olduğunu aklından çıkarmamalıdır. Küçük delikler dişliler, aynalar ve kılavuz burçlar daha küçük olacağı için daha yakın yerleştirilebilir. Temel bir kural olarak 6 mm veya daha küçük delikler merkezden merkeze 19 mm'den daha yakın yerleştirilmemelidir. Bazı durumlarda 13 mm de mümkündür. Birbirine çok yakın delikler işlenmesi gerektiğinde deliklerin daireselliğinde bozulmalar meydana gelebilecektir. Burada malzemenin sertliğinin, parçanın şeklinin bozulmamasında olumlu etkisi vardır.

En-boy, çap-derinlik oranları X Malzemenin (bitmiş parçanın) sertliği ve kopma mukavemeti

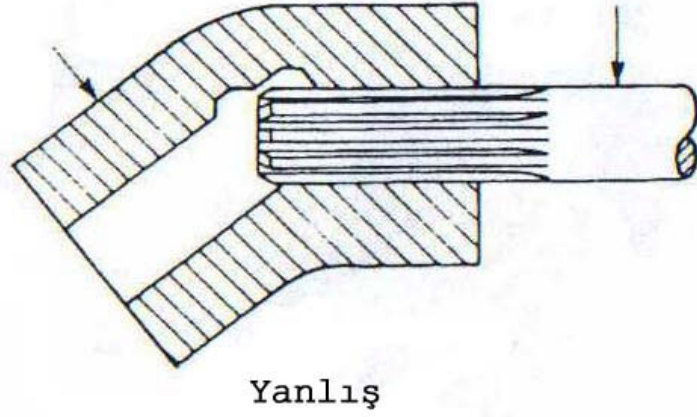
Malzemenin sertliği ve kopma mukavemeti X Uygun şekilsel tasarım

57) Raybalama sırasında, delik pozisyonunun yeri veya yerleşiminin kritik olduğu durumlarda kılavuz yatak kullanmak iyi bir yöntemdir. Fakat yine de delikteki eksenel kaçıklıklar çok küçük olmadığı sürece deliğin merkezlenmesi konusunda raybalama işlemi güvenilir değildir.

Optimum işlem parametrelerine yakınlık X Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti

İşlem sonrası ölçüm ve kontrol ihtiyacı X Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti

58) Takım kırılması ve çapak oluşumu problemlerini engellemek için matkapla delinmiş ve raybalanmış deliklerin kesişmesi önlenmelidir (Şekil 5.32). Deliklerin kesişmesi durumunda kesici ucun üzerindeki kuvvet dengesi bozulacaktır. Özellikle çapı küçük matkap uçlarında bu tür kesişmeler durumunda kırılmalar meydana gelecektir. Ayrıca deliklerin birbirlerine açılmasının zorunlu olduğu durumlarda çapak oluşumunun azaltılması için çapı küçük deliklerin büyük deliklere açılması önerilmektedir.



Şekil 5.32 Deliklerin kesişmesi olabildiğince engellenmelidir. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

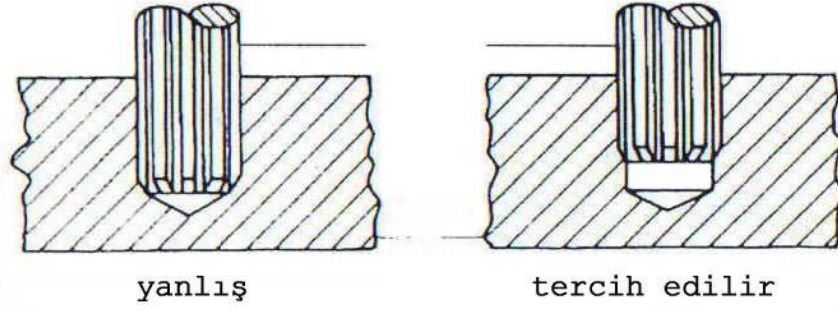
Uygun şekilsel tasarım X Kesici uç maliyeti

Uygun şekilsel tasarım X Yüzey kalitesi

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X Yüzey kalitesi

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X Uygun şekilsel tasarım

59) Bir kör deliğin tornalanmasının gerektiği durumlarda en iyi yöntem çıkan talaşlara boş alan yaratmak için önceden bir miktar daha fazla delinmiş bir matkap deliğidir (Şekil 5.33).



Şekil 5.33 Delik diplerinde yeterince boşluk bırakılmalıdır. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Matkapla delme işlemi sırasında ortamdan uzaklaştırılamayan talaşlar, takım ile kesici uç arasında sıkışarak takımın kırılmasına, işlenmiş yüzeylerin bozulmasına yol açacaktır. İstenenden bir miktar uzun delinmiş bir kılavuz delik, çıkan talaşların birikmesi için gerekli alanı sağlayacaktır.

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X Farklı imalat yöntemi gereksinimi

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X Yüzey kalitesi

60) Delik işleme işlemlerinde dahi kesişen deliklerden kaçınılmalıdır. Kesikli işlemler deliklerin daireselliğini bozar, titreşim ve takım aşınmasına neden olur.

Optimum işlem parametrelerine yakınlık X Uygun şekilsel tasarım

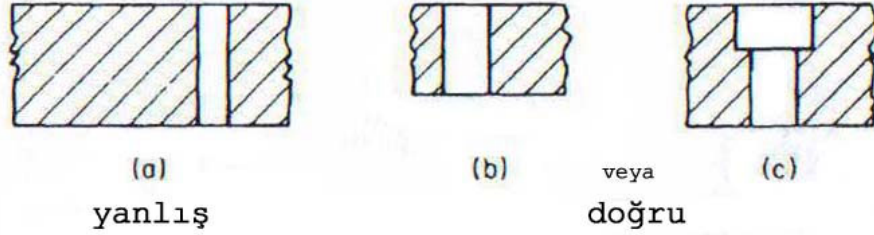
Yüzey kalitesi X Uygun şekilsel tasarım

Kesici uç maliyeti X Uygun şekilsel tasarım

Tezgahın rijitliği X Optimum işlem parametrelerine yakınlık.

61) Derinlik-çap oranı 4:1 veya 5:1 oranından daha büyük delik tasarlamaktan kaçınılmalıdır, aksi halde katerin sehimine bağlı olarak deliğin hassasiyeti kaybolabilir. Karbür katerler kullanıldığında derinlik-çap oranı 8:1 e kadar mümkündür. Eğer derin

deliklerden kaçınılamıyorsa işlenen yüzeyin derinliğini sınırlamak amacıyla delik kademeli değişen çaplarla işlenmelidir (Şekil 5.34).



Şekil 5.34 Kademeli delikler delmek veya karbür kater kullanımı (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

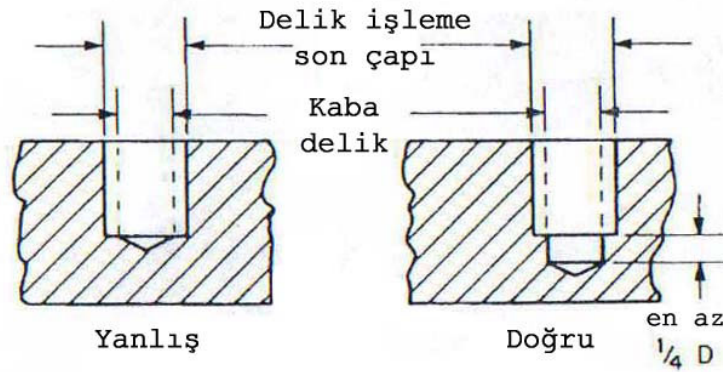
Optimum işlem parametrelerine yakınlık X Uygun şekilsel tasarım

Tezgah maliyeti X Optimum işlem parametrelerine yakınlık

Tezgah maliyeti X Tezgahın rijitliği

İşlem sonrası ölçüm ve kontrol ihtiyacı X Tezgahın rijitliği

62) Olabildiğince sonu açık delikler tasarlanmalıdır. Deliğin kör delik olması gerekiyorsa, matkapla açılan ilk kaba deliğin derinliğinin, genişletilecek son delikten son delik çapının $\frac{1}{4}$ ü kadar derin olması sağlanmalıdır. (şekil 5-35)



Şekil 5.35 Delik işleme son işlem payı ve talaş boşluğu bırakılmalıdır. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X Farklı takım sayısı

İşlemin toplam süresi X Kesici uç geometrisi

Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X Uygun şekilsel tasarım

63) Az sayıdaki özel çaplı delikler haricinde delik işleminin raybalama veya matkapla delmeden daha pahalı olduğu unutulmamalıdır. Kullanılan ekipman daha pahalı ve işlem daha yavaştır. Delik işleme sadece hassasiyet ihtiyacı olduğunda kullanılmalıdır. Gerçekten gerekmediği sürece işlenmiş deliklerde tolerans verilmemelidir. Burada parçanın kullanılacağı ortam önem kazanmaktadır. Yatak amaçlı kullanılacak deliklerde daha hassas bir işlem gerekebilecekken, sadece sabitleme deliği gibi bir amaçla açılan delikler için matkap ucunun oluşturduğu yüzey kalitesi yeterli olacaktır. Burada pahalı takım kullanılması kesici uç maliyetini yükseltecek, dolayısıyla da ekonomik parça sayısını düşürecektir.

Yüzey kalitesi X Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu)

Toleransların kalitesi X Ekonomik parça sayısı

Parçanın diğer parçalara montaj rahatlığı X Yüzey kalitesi

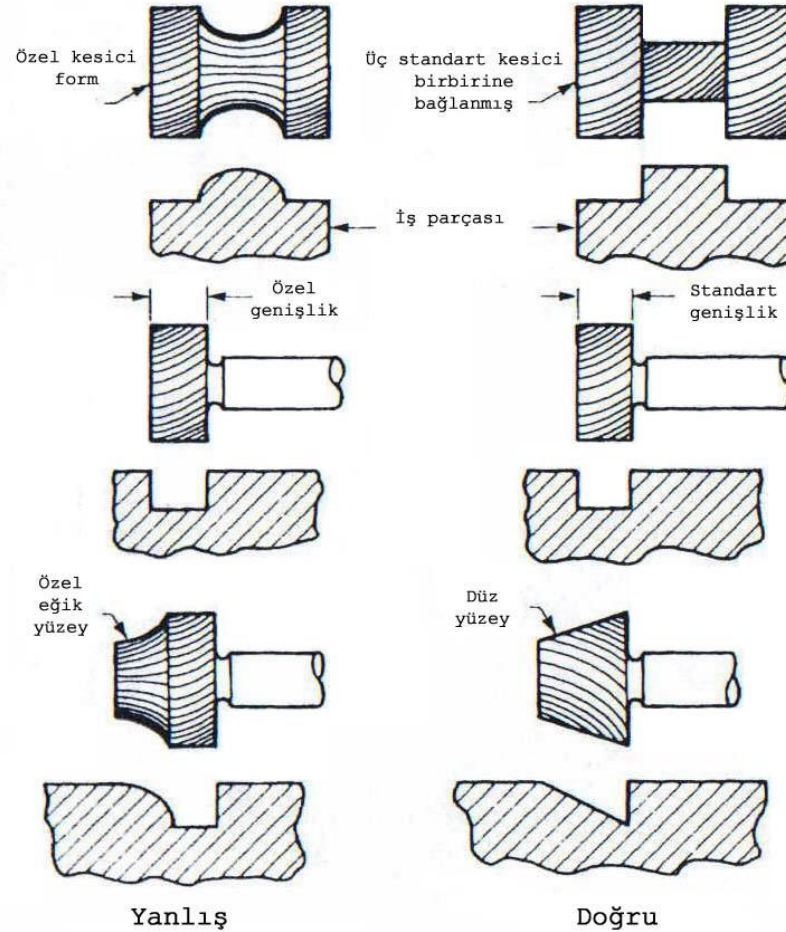
Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu) X Ekonomik parça sayısı

Ekonomik parça sayısı X Kesici uç maliyeti

64) Diğer hassas işlemler olduğu gibi delik işlemede de, iş parçası kesme kuvvetlerinin sonucu titreşim veya sehim oluşması engellenecek şekilde rijit olmalıdır. Parça tezgaha bağlandığı zaman sehim olmaması için parça tasarımına ve fiktür tasarımına dikkat edilmelidir. Böyle bir durum olduğunda parçanın üzerindeki işlenmiş yüzeyler parça söküldüğünde yer değişimine uğrayacaktır. Malzemenin sertliği parçanın tezgaha bağlanması sırasında oluşacak kuvvetlere karşı oluşan sehimin önüne geçecektir. Ayrıca tasarımda sehimi önleyecek tasarım parçanın işleme sırasında istenen ölçülerden sapmasını minimuma indirecektir.

Malzemenin sertliği ve kopma mukavemeti X Optimum işlem parametrelerine yakınlık
 Parçanın tezgaha bağlanabilme rahatlığı X Optimum işlem parametrelerine yakınlık
 Tezgahın rijitliği X Optimum işlem parametrelerine yakınlık
 İşlem sonrası ölçüm ve kontrol ihtiyacı X Optimum işlem parametrelerine yakınlık

65) Ürün tasarımı standart kesici şekilleri ve boyutlarına izin vermelidir. Kanal genişlikleri, radyüsler, pahlar, köşe şekilleri ve diğeri boyutlar özel üretim isteyen kesici takımlar yerine kolayca bulunabilen kesici takımlarla uyumlu olmalıdır. Özel şekil verilmiş kesici takımlar pahalıdır ve bakımları zordur. (Şekil 5.36)



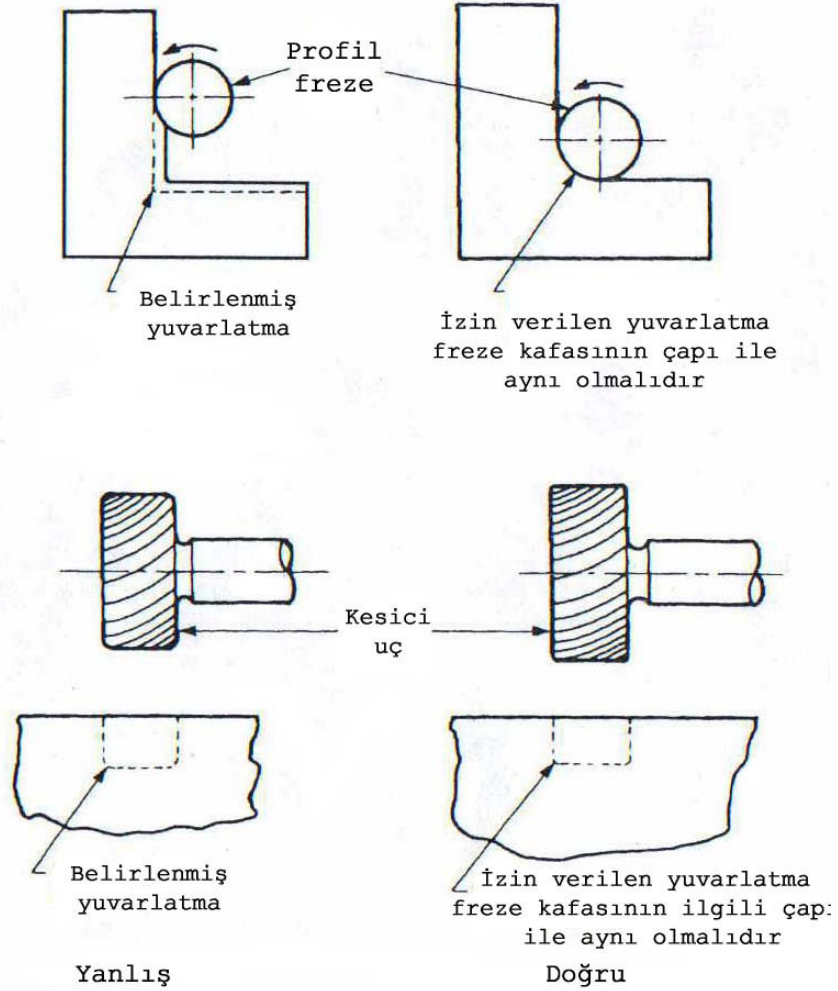
Şekil 5.36 Özel formlar yerine standart kesici uç formlarının kullanımı (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Kesici uç maliyeti X Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar)

Kesici uç maliyeti X En-boy, çap-derinlik oranları

Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar) X Bakım kolaylığı

66) İki frezelenmiş yüzeyin birleşimi veya yüzey işlemenin gerekli olduğu yerlerde ürün tasarımı yuvarlatmaların kesici ucun formuna göre seçimine izin vermelidir. Bu standart olarak bulunabilen veya kolayca üretilebilen kesici uçların kullanımını mümkün kılacaktır (Şekil 5.37).



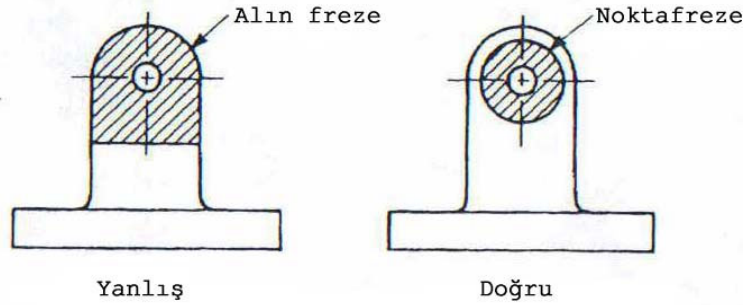
Şekil 5.37 Freze uçlarının standart ölçülerinin parçaya aktarılması. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Kesici uç geometrisi X Ekonomik parça sayısı

Kesici uç geometrisi X İşlemin toplam süresi

İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar)

67) Rulman yüzeyi veya cıvata başı için delik eksenlerine dik küçük düz bir yüzey gerektiğinde ürün tasarımı yüzey frezelemeden çok daha hızlı ve ekonomik olan nokta frezelemeye (Spot milling) imkan sağlamalıdır (Şekil 5-38).



Şekil 5.38 Parça üzerinde fonksiyonel açıdan gerekli yerlere odaklanılması. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Parçanın diğer parçalara montaj rahatlığı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar) X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

Talaşlı imalat sonrası göreceği diğer işlemlerin ihtiyaçları X Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar)

Parçanın diğer parçalara montaj rahatlığı X Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar)

İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi X Ekonomik parça sayısı

68) Döküm parçalar için küçük yüzeyler tanımlanmışsa, yüzeyler parça genel yüzeyinden bir miktar daha yüksek tasarlanmalıdır. Bu tasarım talaş kaldırmayı ve boya veya benzeri kaplamaların çıkarılmasını kolaylaştırır, aynı zamanda daha az keskin olan bir kenar elde edilmesini sağlar (Şekil 5.39).



Şekil 5.39 Noktasal frezeleme (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

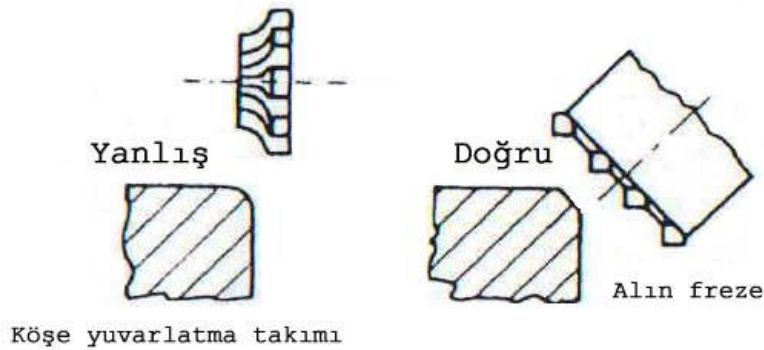
Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı X İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi

Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar) X Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı

İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi X Ekonomik parça sayısı

İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi X Kesici uç maliyeti

69) Dış yüzeylerin kesiştiği ve keskin kenarların istenmediği durumlarda ürün tasarımı bir yuvarlatmadan çok pah kırmaya izin vermelidir. Pahlar yüzey freze ile yapılabilirken yuvarlatmalar özel formlu bir freze kafası ve özel ayarlamalar gerektirir ki bu iki durum da oldukça maliyetlidir. Burada özel form freze kullanılması freze kafasının değiştirilmesini gerektireceği için fazladan zaman kaybına neden olacaktır. Boşta geçen zamanlar maliyeti yükseltecektir (Şekil 5.40).



Şekil 5.40 özel formlu frezeler tercih edilmemelidir. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

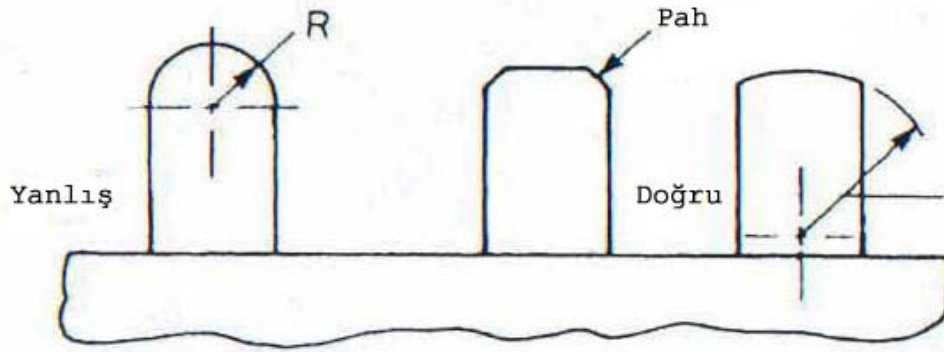
Farklı takım sayısı X Kesici uç maliyeti

Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar) X Kesici uç maliyeti

Kesici uç (ve takım) geometrisi X Ekonomik parça sayısı

İşlemin toplam süresi X Ekonomik parça sayısı

70) Benzer şekilde, form frezelemede veya parmak şeklindeki çıkıntılarının işlenmesinde işlenen yüzeyi ilk işlenmiş yüzey ile birleştirmeye çalışılmamalıdır, çünkü bu işlemin tam olarak yapılması oldukça güçtür (Şekil 5.41).



Şekil 5.41 Kademesiz geçiş işlem süresini ve maliyetleri arttıracaktır. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Yüzey kalitesi X Ekonomik parça sayısı

İşlemin gerektirdiği bilgi ve beceri düzeyi X Ekonomik parça sayısı

Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti X Ekonomik parça sayısı

Farklı imalat yöntemi gereksinimi X Ekonomik parça sayısı

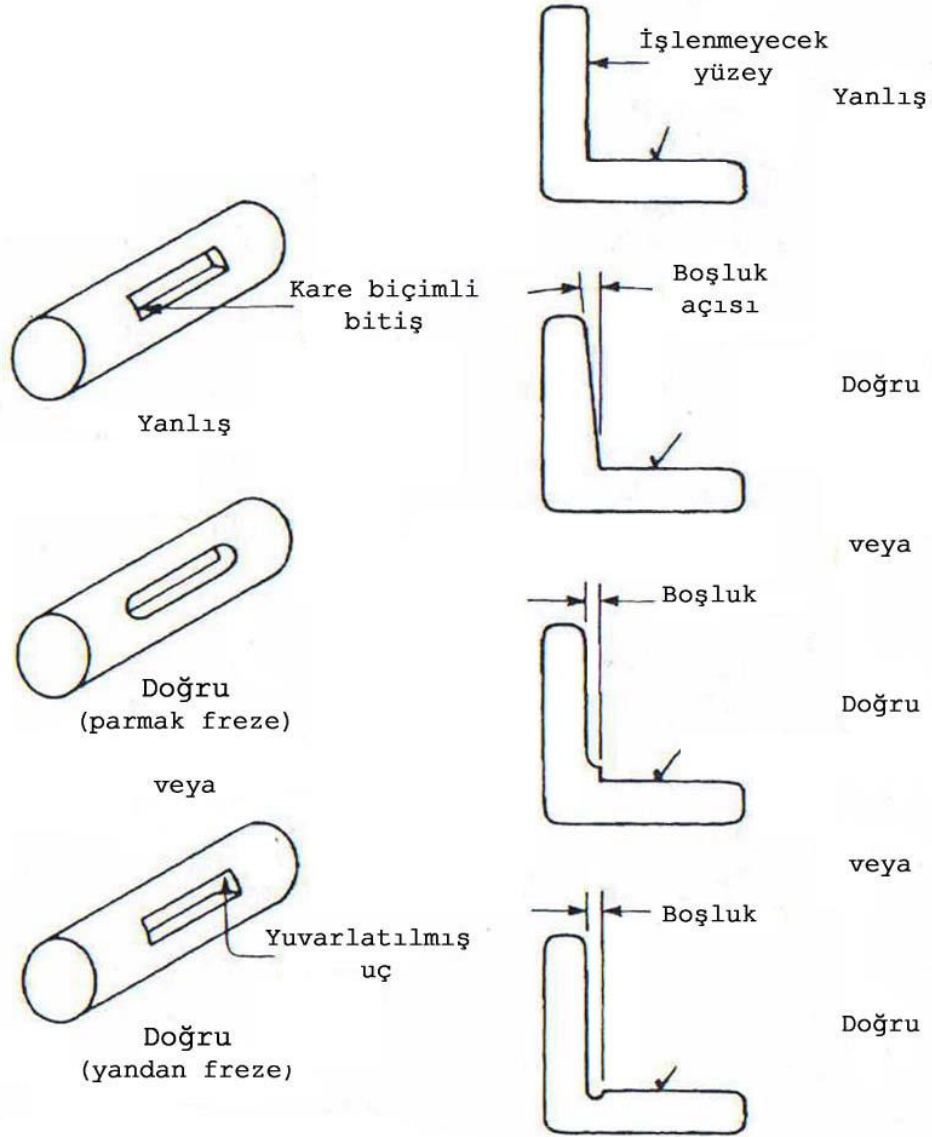
Farklı imalat yöntemi gereksinimi X Tezgah maliyeti

Parçanın karmaşıklığı X Parçanın çalışma hassasiyeti (fonksiyonu)

Optimum işlem parametrelerine yakınlık X Tezgahın konumlama ve işleme kabiliyeti

71) Kama yuvası tasarımında yuvayı açacak kesici parça eksenine paralel hareket etmeli ve işlem sonunda kendi radyüsünü vermelidir. Standart bir kesici kama yuvasının hem

genişliğini hem de son radyüsünü oluşturabilmelidir. Bu prensip aynı zamanda diğer kanallar, testere profiller, yüzey ve kabuk frezeleme için de geçerlidir. (Şekil 5.42)



Şekil 5.42 Özel takımlandırmalar gerektiren formlardan kaçınılmalıdır. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar) X Farklı takım sayısı

Farklı takım sayısı X İşlemin toplam süresi

Takım değiştirme süresi X Ekonomik parça sayısı

Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar) X Kesici uç maliyeti

72) Fatura benzeri kademelere bitişik yüzeylerin işlenmesinin gerektiği durumlarda tasarım kesici ucun ilerlemesine imkan sağlayacak boşluğa sahip olmalıdır. Şekil 5.42 deki gibi küçük basamaklar, radyüsler, eğimli yüzeyler kullanılmalıdır. Bu boşluklar aynı zamanda talaşın yüzeye sürtünmesinin ve yüzey kalitesini bozmasının da önüne geçer.

İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı

Kesici uç (ve takım) geometrisi X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

Parçanın karmaşıklığı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

73) Parça üzerinde döküm izlerinin olduğu bölgelerde, kaynak bölgelerinde parça kesimini engelleyen tasarımlar kesici ucun ömrünü uzatır.

Kesici ucun ömrü X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

Kesici uç maliyeti X Kesici ucun ömrü

Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar) X Kesici ucun ömrü

74) Diğer yüzey işleme proseslerinde olduğu gibi, en ekonomik tasarımlar en az sayıda farklı operasyon gerektiren tasarımlardır. Aynı düzlemdeki veya en azından aynı yöndeki yüzeyler ve paralel yüzeyler seçilmelidir.

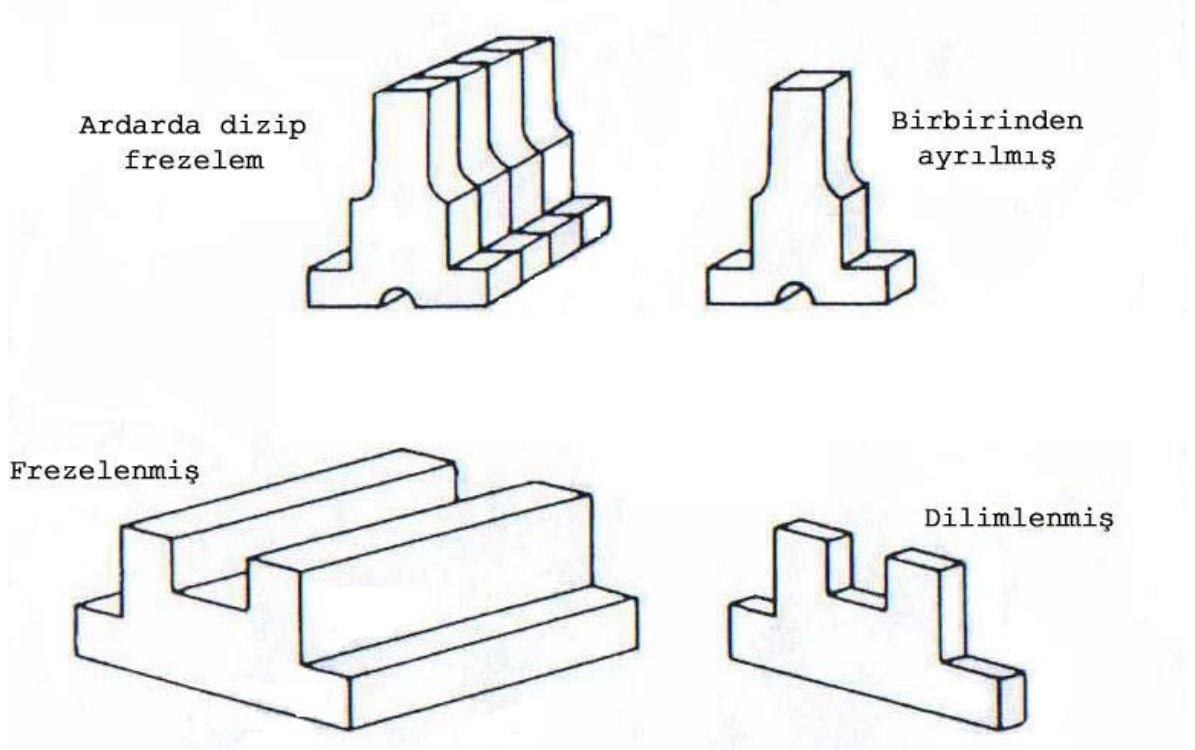
İşlemin toplam süresi X Parçanın karmaşıklığı

İşlemin toplam süresi X Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar)

Ekonomik parça sayısı X İşlemin toplam süresi

75) Frezeleme işlemleri, ürün tasarımının çok sayıdaki parçanın arka arkaya dizilmesine

imkan sağlaması durumunda çoğu zaman daha ekonomik bir imalat işlemidir . Aynı avantaj frezeleme işlemi sonrası parçaların büyük bir parçadan dilim dilim kesilmesi sayesinde de elde edilebilir (Şekil 5.43). Parçalar tam olarak yan yana dizilmeye uygun olmasa bile birbirlerine geçecek şekilde tasarlanmaları arka arkaya frezeleme işlemini mümkün kılar.



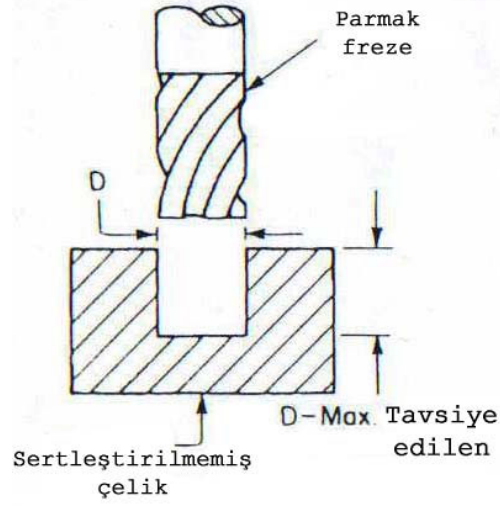
Şekil 5.43 Aynı anda birden fazla parçanın işlenmesi. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

İşlemin toplam süresi X Parçanın tezgaha bağlanabilme rahatlığı

Ekonomik parça sayısı X İşlemin toplam süresi

Parçanın tezgaha bağlanabilme rahatlığı X İşçilik maliyeti

76) Ürün tasarımı daha yüksek talaş kaldırma hızları, tezgah gücünün daha verimli kullanılabilmesi ve işlem sırasında düşük dinamik işleme şartlarının elde edilebilmesi için küçük kesici kafalar yerine büyük kafalara izin vermelidir.



Şekil 5.44 Talaş kaldırma oranlarının artırılması için büyük boyutlu kesici uçların kullanımı. (BRALA, Design for Manufacturability Handbook 1998)

İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği X Talaşın uzaklaştırılabilme rahatlığı

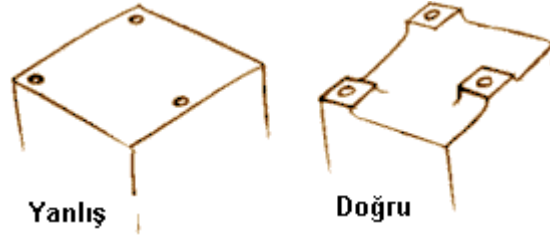
Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar) X Kesici ucun ömrü

77) Döküm yüzeyden tornalanan parçalarda çapak oluşumunun önlenmesi için aşağıdaki şekil 5.45’de görüldüğü üzere yan yüzeylerin parça eksenine dik değil belirli bir açıya sahip olması istenir.



Şekil 5.45 Çapak oluşumunun engellenmesi parçaya giriş bölgelerinin eğimli olması. (<http://www.efunda.com>)

78) Düzlemselliğin yüksek olması gereken yüzeylerde çıkıntılı yüzeycikler yapılmalıdır. Bu sayede düzlemselliğin kontrol edilmesi gereken alanlar tanımlanmış olur. Boyanması veya yüzey bitirme işlemleri uygulanması gereken yüzeyler için kolaylık sağlanmış olur.



Şekil 5.46 Sadece gerekli bölgelerin işlenmesi maliyetleri düşürecektir.
(<http://www.efunda.com>)

İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi X Ekonomik parça sayısı

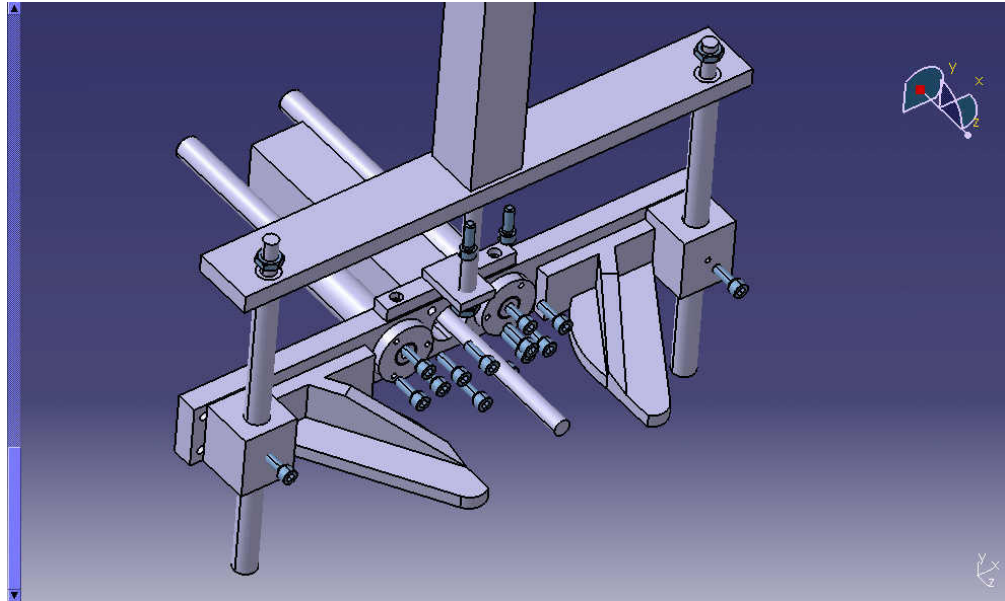
İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi X Kesici uç maliyeti

6 Uygulama örnekleri

6.1 Uygulama 1

Ortaya konan tasarım önerileri ve matrisin kullanımı çeşitli makina parçalarının tasarımının gözden geçirilmesi ile yapılmıştır. Parçalarının incelenmesinde PVC profillerinden pencere çerçevesi imalatı yapılması sırasında kullanılan çeşitli makinalar kullanılmıştır. Bu amaçla öncelikle makina üzerindeki üretimi en maliyetli parçalardan biri seçilmiştir. Bu parçalarla ilgili öncelikli olarak üretim akışı incelenmiştir. Bu inceleme sırasında parçaların üretim süresini kısaltmak, üretim maliyetlerini düşürmek, parçaların istenen özelliklerde üretilebilirliğini sağlamak düşüncesi ile çalışma yürütülmüştür. Makina üreticisinin beklentileri de bu sırada dikkate alınmıştır.

İncelenen ilk parça PVC profillerin kaynağı sonrasında oluşan plastik artıklarını temizlenmesinde kullanılan köşe temizleme makinasını bir parçasıdır. Görevi kesici bıçakların hareketini sağlayan pistonların bağlandığı bir ortak gövde olmasıdır. Kara döküm ismi verilen malzemeden üretilmektedir. Aşağıdaki CAD tasarımında (şekil 6.1) görüleceği üzere, farklı millerin yaltaklanmasını yapabilmek için üzerine çeşitli mil yatakları monte edilmektedir.



Şekil 6.1 iyileştirme öncesi monaj grubu

Parçanın üzerine yukarıda gösterildiği üzere iki temel parça ve çok sayıda küçük parça bağlanmaktadır. Bu noktada üreticinin üretimde yaşadığı temel zorluklar sorgulanmıştır. Bu talepler şöyle sıralanmıştır;

- Çok fazla işleme yüzeyinin olması
- Bağlantı elemanlarının maliyeti
- İşlem süresinin uzunluğu
- Uzun vadede rijitlik

Yukarıdaki geribildirimler ışığında uygun çözüm önerilerine ulaşabilmek için öneriler matrisinden aşağıdaki özellikler tespit edilmiştir.

5) Uygun şekilsel tasarım (standart boyular, genel kurallar)

10) İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi

15) Ekonomik parça sayısı

17) İşçilik maliyet

19) Kesici uç maliyeti

22) İşlemin toplam süresi

Öncelikle bu maddelerin artışı veya azalışı yönünde kararlar verilmiştir. Bu kararlar matrisin anlatımında da görülebileceği üzere; karşılıklı maddelerin kesişimindeki önerilerin hayata geçirilmesi durumunda tek yönlü iyileşme ve tek yönlü bozulma veya karşılıklı iyileşme ve kayıp-kazanç (takas) ilişkisi oluşur.

Maddelerin birbirleri ile kesişimleri sonucu matristen aşağıdaki ilişkiler ve çözüm önerileri tesbit edilmiştir.

Uygun şekilsel tasarım X Kesici uç maliyeti Öneri no: 38, 42, 43, 44, 45, 48, 50, 55, 58, 60, 65, 69, 71

Uygun şekilsel tasarım X İşlemin toplam süresi Öneri no: 53, 55, 74

Ekonomik parça sayısı X İşçilik maliyeti Öneri no: 11

Ekonomik parça sayısı X Kesici uç maliyeti Öneri no: 5,14, 21, 30, 32, 39, 70

Ekonomik parça sayısı X İşlemin toplam süresi Öneri no: 33, 53, 69, 74, 75

İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi X Ekonomik parça sayısı Öneri no: 67, 68, 78

İyileştirme yapabilmek için yukarıdaki öneriler incelendiğinde toplam 27 öneriden

(5, 11, 14, 21, 30, 32, 33, 38, 39, 42, 43, 44, 45, 48, 50, 53, 55, 58, 60, 65, 67, 68, 69, 71, 74, 75, 78)

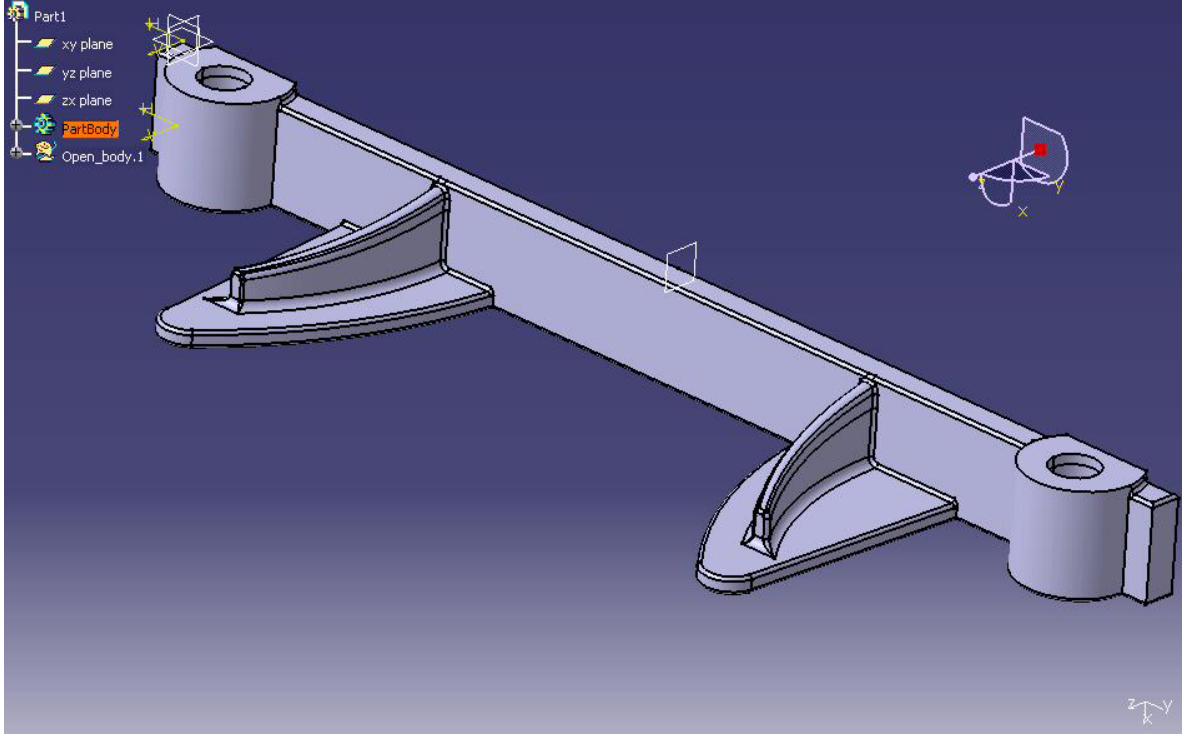
Uygulanabilir olanlar şöyle listelenmiştir.

5, 38, 39, 67, 68, 74, 78

Bu maddelerin seçiminde önerilerin parça geometrisi için uygulanabilir olup olmamaları en belirleyici etken olmuştur. Örneğin ilk aşamada bulunan önerilerden tornalama işlemleri ile ilgili olanlar elenmiştir. Ardından uygulanabilir olan işlemlerin parçanın hangi bölgelerine uygulanabileceği araştırılmış ve parçaya özel aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır.

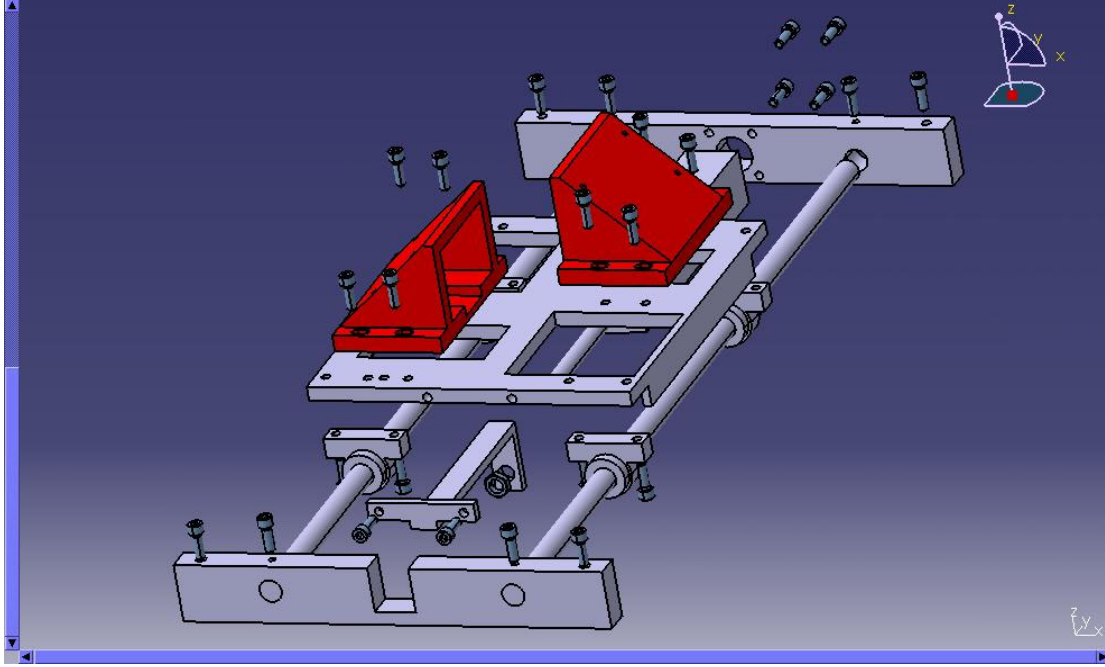
- 5 numaralı öneri sayesinde parçanın üzerindeki işleme yüzeylerinin azaltılması hedeflenmiştir. Bu amaçla dökümle elde edilen parçanın, birbirine monte edilen üç parçanın tek parçaya dönüştürülmüş hali olarak dökülmesi düşünülmüştür. Bu sayede montaj yüzeylerinin gerektirdiği yüzey işleme adımları ortadan kaldırılmıştır. İşlemin toplam süresi kısalmış, dolayısıyla maliyette düşüş sağlanmıştır.
- 38 ve 39 numaralı öneriye göre parça üzerinde özel radyüsler tanımlanmamış, döküm parçaların kalıplama sırasında aldıkları standart radyüsler kullanılmıştır.
- 67, 68, 78 numaralı öneri hem delik delme ve işleme işleminin doğruluğu hemde talaş kaldırma işleminin azaltılması için noktasal frezelemenin kullanılmasını önermektedir. Parça üzerinde bu öneriye göre mil yataklarının olduğu yerler bir miktar çıkıntılı tasarlanmıştır.
- 74 numaralı öneri dikkate alınarak işleme yüzeyleri aynı yükseklikte tutulmuştur.

Sonuçta planlanan değişikliklerin ardından parçanın son şekli (Şekil 6.2) aşığıdaki gibi oluşmuştur.



Şekil 6.2 iyileştirme sonrası parça görünüşü

6.2 Uygulama 2



Şekil 6.3 İyileştirme öncesi montaj grubu

Metodun ikinci uygulaması PVC çıtalarının kesiminde kullanılan çita kesim makinasının motorlarının monte edildiği bir yatak ve kaide montaj grubunun üzerinde yapılmıştır (Şekil 6.3). Çalışmada toplam 3 parçanın üretim süreçleri incelenmiş ve bu üretim süreçleri üreticinin aşmaya çalıştığı engellerin de eşliğinde kolaylaştırılacak şekilde tasarımında bazı farklılıklar yapılmıştır.

Öncelikle üreticinin beklentileri dinlenmiş, TRIZ metodunda olduğu gibi çelişkilerin veya problemlerin tespitine çalışılmıştır. Talepler şöyle sıralanmıştır.

- Mil yataklarının torna tezgahında ve matkapla delme işlemi ile üretilmesi dolayısıyla üretim maliyetinin ve üretim süresinin uzunluğu.
- 45 derece eğimli motor montaj kaidelerinin gereksiz yere büyüklüğü, döküm maliyeti, işlem yüzeylerinin montaj öncesi işlenme zorunluluğu
- Motor montaj kaidelerinin montajı için açılan deliklere ulaşım zorluğu.

Yukarıdaki talepler dikkate alınarak çelişkiler matrisinden temel özellikler seçilmiştir. Bu seçim sonucunda aşağıdaki temel özellikler tespit edilmiştir.

- 3) Parçanın diğer parçalara montaj rahatlığı
- 5) Uygun şekilsel tasarım (standart boyutlar, genel kurallar)
- 6) Parçanın karmaşıklığı
- 10) İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi
- 15) Ekonomik parça sayısı
- 20) Farklı imalat yöntemi gereksinimi
- 28) İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği

Parçanın diğer parçalara montaj rahatlığı X Uygun şekilsel tasarım (standart boyutlar, genel kurallar) Öneri no: 67

Parçanın diğer parçalara montaj rahatlığı X Parçanın karmaşıklığı Öneri no: 15

Parçanın diğer parçalara montaj rahatlığı X Ekonomik parça sayısı Öneri no: 31

Parçanın diğer parçalara montaj rahatlığı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği Öneri no:67

Uygun şekilsel tasarım (standart boyutlar, genel kurallar) X Farklı imalat yöntemi gereksinimi Öneri no: 33

Uygun şekilsel tasarım (standart boyutlar, genel kurallar) X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği Öneri no: 3, 19, 36, 41, 48, 53, 66, 67

Parçanın karmaşıklığı X Ekonomik parça sayısı Öneri no: 8, 14

Parçanın karmaşıklığı X Farklı imalat yöntemi gereksinimi Öneri no: 8

Parçanın karmaşıklığı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği Öneri no: 3,19, 21, 23, 26, 72

İşlenmemiş parçanın dış yüzeyi X Ekonomik parça sayısı Öneri no: 11, 67, 68, 78

Ekonomik parça sayısı X Farklı imalat yöntemi gereksinimi Öneri no: 5,14, 21, 30, 32, 39, 70

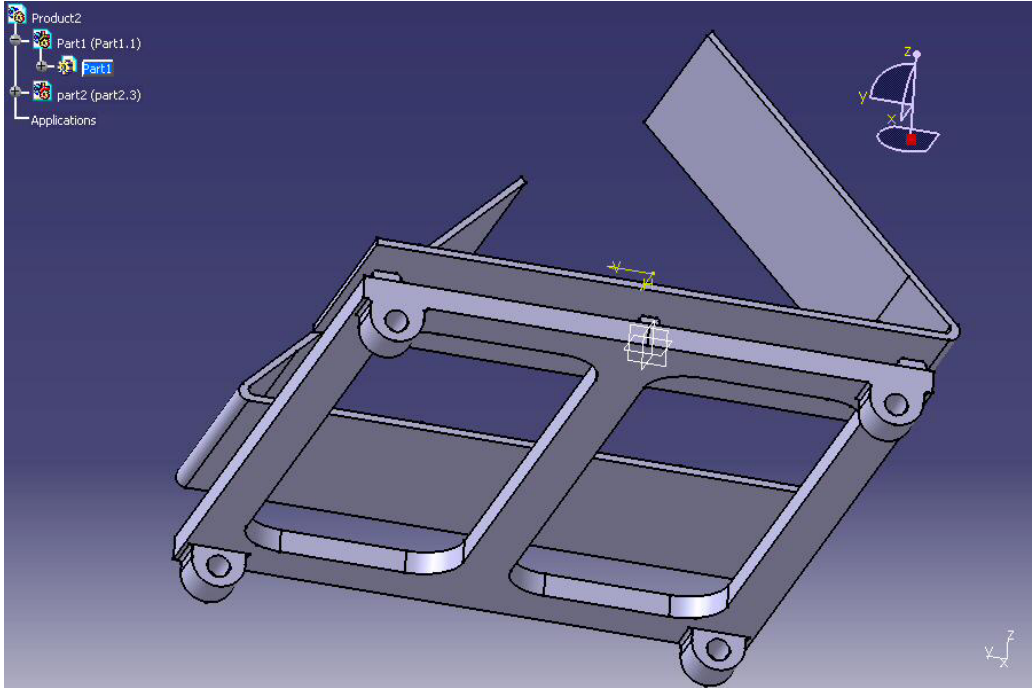
Ekonomik parça sayısı X İşleme yüzeyinin ulaşılabilirliği Öneri no: 25, 29

Elde edilen çözüm önerileri şöyle listelenmiştir.

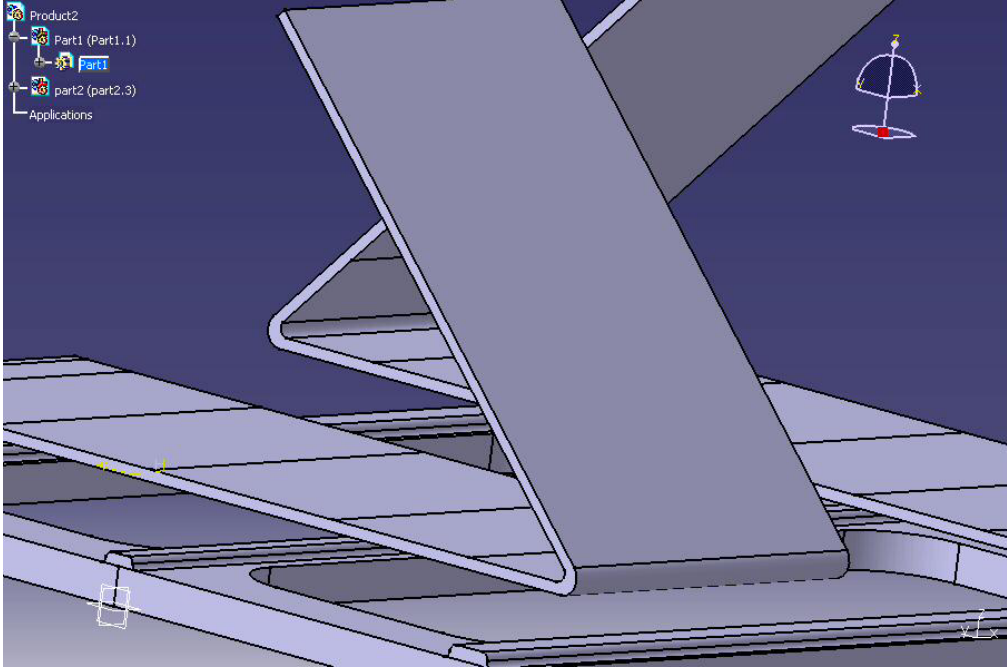
3, 5, 8, 11, 14, 15, 19, 21, 23, 25, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 36, 39, 41, 48, 53, 66, 67, 68, 70, 72, 78

Önerilerin incelenmesi ve uygulanabilir olanların ayrıştırılması sonrasında aşağıdaki tasarım değişiklikleri yapılmıştır (Şekil 6.4, Şekil 6.5).

- 11 numaralı öneriye göre 45 derece eğimli montaj yüzeyine sahip motor montaj kaidesinin kum kalıba döküm ile üretilmesi yerine pres kesim ve büküm yöntemi ile üretilmesi uygun bulunmuştur. Metal levha kalınlığı 5 mm seçilmiştir.
- 48 numaralı öneri dikkate alınarak mil yatağı derinlikleri delik çapının 3 katını aşmayacak şekilde tasarlanmıştır
- 53 numaralı öneri doğrultusunda yatak deliklerinin her iki tarafta tek seferde bağlanıp delinebilecek şekilde tasarlanmıştır
- 68 numaralı öneriye göre motor montaj kaidelerinin yatak gövdesine monte edileceği yüzeylerde yapılan çıkıntılar sayesinde tüm yüzeylerin işlenme zorunluluğu kaldırılmış aynı zamanda yatak deliklerindeki işlenmesi öncesinde bağlama yüzeyleri elde edilmiştir.



Şekil 6.4 Tasarımın alttan görünüşü



Şekil 6.5 Yeni tasarımın bağlama yüzeyleri

7 Sonuç ve Öneriler

Gerçekleştirilen bu çalışma, talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak imal edilecek ürünler için imalat esnasında ortaya çıkabilecek problemlerin daha ürün tasarım aşamasındayken dikkate alınmasını sağlayan ve tasarımın bu problemlerin önüne geçecek şekilde yapılarak zamandan, malzemedan, işçilikten tasarruf sağlanması esasına dayanan DFM metodolojisi için bir ara yüz oluşturan, öncü bir çalışmadır.

Bu çalışmada öncelikle üretilebilirlik için tasarım alanında; özellikle frezeleme, tornalama, delik işleme ve matkapla delme işlemlerinde, ortaya konulan çözüm önerilerinden yola çıkılarak, bu çözüm önerilerine ulaşmayı sağlayan temel talaşlı imalat özellikleri belirlenmiştir. Bu temel özelliklerin birbirleri üzerindeki tek yönlü ve çift yönlü, ayrıca eş yönlü ve zıt yönlü veya nötr etkileri, çözüme sistematik bir yaklaşım getiren TRIZ metodundaki çelişkiler matrisi yaklaşımı kullanılarak birbirleri ile ilişkilendirilmiştir. Çeşitli araştırmalar, mülakatlar ve tartışmalar sonucunda belirlenmiş 35 temel özellik 35x35 boyutlarındaki bir matrise yerleştirilmiştir. Bir temel özelliğin iyileştirilmesi ile iyileşen, kötüleşen veya hiç etkilenmeyen diğer parametrelerin durumu matriste farklı renklerle sembolize edilmiş, satır ve sütun elemanı olan iki farklı değişkenin kesişim noktasına ise özellikle talaşlı imalat alanında parça tasarımı konusunda yapılan kaynak taraması ve yine aynı alanda çalışan tecrübeli tasarımcı ve imalatçılarla yapılan mülakatlar sonrasında tesbit edilen 78 adet DFM çözüm önerisi yerleştirilmiştir.

Matris, gelişimi sürekli devam edecek şekilde oluşturulmuş olup bu çalışmada ortaya konulan yaklaşımın kullanımını daha da kolaylaştırmak amacıyla bir de WEB sitesi oluşturulmuştur (<http://k.domaindlx.com/onurozan>). Bu sitedeki yapı sayesinde temel parametrelerin birbirleri ile kesişim noktasındaki öneri numarasına tıklanması halinde çözüm önerisi için hazırlanmış web sayfası açılarak çözüm ile ilgili detaylı açıklama ve resimler görüntülenmektedir.

Yöntemin daha geniş bir kullanım alanı bulması, kullanıcılara daha isabetli ve konu ile yakından ilişkili çözüm önerileri sunabilmesi için veritabanı şeklinde olan bir öneri bankası kullanımı doğru olacaktır. Bu çözüm önerisi bankasında her çözüm önerisinin hangi temel özelliklerin çelişmesi durumundan kullanılabileceği bilgisinin kaydedilmesi

sayesinde çok çeşitli filtreleme seçenekleri mümkün olacaktır. Ayrıca bu öneri bankasının malzeme ve proses veritabanları ile de desteklenmesi kullanılabilirliğini arttıracaktır. Bu sayede çelişkilerin çözülmesi için kullanılabilecek farklı malzeme ve proses alternatiflerine kolayca ulaşıp birbirleri arasında karşılaştırmalar yapılabilecektir.

Çözüm önerilerinin hangi temel özellik gruplarında veya alt özelliklerde iyileşme yapmaya müsait olduğunu derecelendirerek çelişkileri çözmenin ötesinde iyileştirilmek istenen özellik veya özellik gruplarının hangi düzeyde iyileştirilmesi istendiği bilgisinin veri bankasına girilmesi sonrasında hedeflenen iyileşmeye uygun çözüm önerilerine kolayca ulaşılabilir. Bu sayede belirli parça özellikleri için optimizasyon çalışmaları da yürütülebilecektir.

Yapılan çalışma aynı zamanda diğer DFX türleri içinde oluşturulabilecek benzer matrislerin oluşturulmasında da yol gösterici olacaktır. Farklı hedefler için benzer şekilde temel özelliklerin ve çözüm önerilerinin tespitinin ardından matrisin çalışma mantığı korunarak farklı alanlar içinde uyarlamalar gerçekleştirilebilecektir.

Geliştirilen çalışma ülkemizde büyük ölçekli sektörlerin araştırma geliştirme departmanları dışında çok fazla uygulamayan TRIZ problem çözme tekniğinin ve DFM metodolojisinin yakın bir gelecekte yaygınlaşması sonrasında daha da önem kazanacak yeni bir çalışmadır.

KAYNAKLAR

- ALTSHULLER, G. 2002 And suddenly the inventor appeared. Technical innovation center, Inc. Worcester MA 171 p.
- BALASUBRAMANIAN S., D. H. NORRIE 1995 A Multi-Agent Intelligent Design System Integrating Manufacturing And Shop-Floor Control. Kalgari Üniversitesi Kanada.
- BRALA, J.G. 1998 Design for manufacturability handbook. McGraw-Hill
- ELINSON A., D. S. NAU, W. C. REGLI 2000 Feature-based Similarity Assessment of Solid Models.
- FEO, J. A., Z. BAR-EL 2002. Creating strategic change more efficiently with a new Design for Six Sigma process. Journal of Change Management
- GAETANO C, P. RISSONE 2004 Plastics design: integrating TRIZ creativity and semantic knowledge portals, Journal of Engineering Design 15 p 405 – 424
- GOEL, P. S., N. SINGH 1998. Creativity and Innovation in Durable Product Development 23. Uluslararası Bilgisayar ve Endüstri mühendisliği konferansı, Computers Industrial Engineering, 35 (1-2) p 5-8.
- GUPTA, S. K., D. DAS, D. S. NAU Generating Redesign Suggestions to Reduce Setup Cost A Step Towards Automated design, Computer Aided Design
- GUPTA, S. K., D. S. NAU 1994. A Systematic Approach for Analysing the Manufacturability of Machined Parts. Computer Aided Design.
- GUPTA, S. K., W. C. REGLI, D. DAS, D. S. NAU 1999 Automated Manufacturability Analysis: A Survey.
- JUGULUM, R., M. ŞEFİK 1998 Building a Robust Manufacturing Strategys 23. Uluslararası Bilgisayar ve Endüstri mühendisliği konferansı, Computers Industrial Engineering, 35 (1-2) p 5-8.
- LAWRENCE, P. R. 1954 How to Deal with Resistance to Change. Harvard Business Review (Mayıs- Haziran)
- LIN, E., I. MINIS, D. S. NAU ve W. C. REGLI 1995. Contribution to Virtual Manufacturing Background Research, Phase II. Maryland Üniversitesi

MALY, W., H. HEINEKEN, J. KHARE ve P. K. NAG 1996 Design for Manufacturability in Submicron Domain. ICCAD '96, 1063-6757/96

MANN D., S. DEWULF 2001 Evolving The World's Systematic Creativity Methods. 7th European Association of Creativity and Innovation conference, Twente Üniversitesi, Hollanda.

MARX, W. J., D. N. MAVRIS, D.N. SCHRAGE 1994 Integrating design and manufacturing for a high speed civil transport wing, 19th ICAS/AIAA Aircraft Systems Conference, Anaheim, CA

Mc GREGOR, D. 1960 The Human Side of Enterprise McGraw-Hill New York

MURDOCK, J. W., S. SZYKMAN, R. D. SRIRAM 1997 An Information Modelling Framework to Support Design Databases and Repositories. ASME Design Engineering Technical Conferences, 14 – 17 Eylül 1997 Sacramento Kaliforniya.

PETRALLI, P 2004 Integrating TRIZ and other methodologies in product/process re-engineering

RANTANNEN, K., E. DOMB 2002 Simplified TRIZ. CRC Press LLC 253 p

SANCHEZ, J.M., J.W. PRIEST, R. SOTO 1997 Intelligent Reasoning Assistant for Incorporating Manufacturability Issues into the Design Process

ZLOTIN, B.,A. ZUSMAN 1999 The Ideation Approach to the Search, Development and Utilization of Innovation Knowledge, Journal for the Altshuller Institute for TRIZ Studies Autumn p 21 – 29

http://www.efunda.com/processes/processes_home/process.cfm

8 EKLER

Ek1 : Talaşlı imalat işlemleri için hazırlanmış çelişkiler matrisi

9 Teşekkür

Makina mühendisliği alanına adımımı attığım ilk günden beri lisans ve yüksek lisans düzeyinde bana her türlü desteğini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR'a, Beni bu günlere getiren anneme ve babama, en büyük destekçime, Yüksek Lisansımın pürüzsüz şekilde yürüebilmesi için desteğini esirgemeyen sayın departman müdürüm Aydın KUZALTI'ya, ve emeği geçen herkese teşekkürü bir borç bilirim.

10 Özgeçmiş

1980 yılında Ankara’da doğdu. Liseyi Bursa Anadolu lisesinde 1998 tamamladıktan sonra aynı yıl başladığı Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2002 yılında mezun oldu. Halen Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilimdalı’nda yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Aynı zamanda 2003 yılından beri Bosch San. Tic. A.Ş. ‘de Kalite Güvence Mühendisi olarak görevini sürdürmektedir.

Filename: Yüksek_lisans_tezi_DFM
Directory: D:\belgelerim_nb\DFM_TRIZ\Yüksek lisans tez
Template: C:\Documents and Settings\onur\Application
Data\Microsoft\Templates\Normal.dot
Title: 1
Subject:
Author: o
Keywords:
Comments:
Creation Date: 23.10.2005 14:30
Change Number: 10
Last Saved On: 30.11.2005 00:48
Last Saved By: o
Total Editing Time: 151 Minutes
Last Printed On: 30.11.2005 00:50
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 117
Number of Words: 24.038 (approx.)
Number of Characters: 137.018 (approx.)