



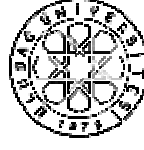
T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TASARIM VE İMALAT SÜREÇLERİNDE  
SİSTEMATİK PROBLEM ÇÖZÜM YÖNTEMLERİNİN  
MONTAJ TASARIM OPTİMİZASYONU İÇİN  
UYARLANMASI

Şaban ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2009



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TASARIM VE İMALAT SÜREÇLERİNDE  
SİSTEMATİK PROBLEM ÇÖZÜM YÖNTEMLERİNİN  
MONTAJ TASARIM OPTİMİZASYONU İÇİN  
UYARLANMASI

Şaban ŞAHİN

Prof.Dr. Ferruh ÖZTÜRK  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2009

T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TASARIM VE İMALAT SÜREÇLERİNDE  
SİSTEMATİK PROBLEM ÇÖZÜM YÖNTEMLERİNİN  
MONTAJ TASARIM OPTİMİZASYONU İÇİN  
UYARLANMASI

Şaban ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 25/05/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Ferruh ÖZTÜRK

Prof.Dr.Cemal ÇAKIR

Prof.Dr.Recep EREN

Danışman

## ÖZET

Mevcut ve/veya olası hatalara çözüm bulabilmek için öncelikle hataların doğru tespit edilip analizinin yapılması gerekir. Günümüzde mevcut ve/veya olası hataların kaynağının tespit edilip analizinin yapılmasında ve tespit edilen hataların ortadan kaldırılması için gerçekleştirilecek faaliyetlerde, ulusal ve uluslararası alanda birçok firma tarafından FMEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi) yöntemi kullanılmaktadır. FMEA yöntemi ile hatalar tanımlanmakta ve analiz edilmekte fakat problemlerin ortadan kaldırılması ya da etkisinin azaltılması bireylerin kendi yaratıcılık kabiliyetlerine kalmaktadır. Bireylerin hatalara yaratıcı ve kalıcı çözüm üretememeleri FMEA' nın hatalara aksiyon gösterme sürecini uzatmakta, kaliteli ve güvenilir ürün tesliminde problemler yaşanmasına neden olabilmektedir. Problemlere optimum çözümler bulunması için bireylere yaratıcılık yeteneğinin kazandırılması, birtakım bilgi ve tekniklerin kullanılarak problemlere sistematik yaklaşılmasının öğretilmesi gerekir. Yaratıcılık doğuştan gelen bir yetenek gibi görünse de birtakım teknikler ile bireylere yaratıcılık yeteneği kazandırılabilir. Bu tekniklerden birisi de Genrich Altshuller tarafından geliştirilen TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi) dir.

Bu çalışmada TRIZ metodunun ve çözüm araçlarının tanıtımı yapıp, gelecekte çalışma yapacaklar için bir bakış açısı kazandırılması, ulusal ve uluslararası alanda hataların tespit ve analizinde yaygın bir kullanım alanına sahip FMEA yönteminde hataların ortadan kaldırılması için alınacak aksiyonlarda TRIZ metodundan nasıl faydalanılabileceği anlatılmıştır. Çalışmada üç uygulamaya yer verilmiştir. İlk iki uygulama ile TRIZ yönteminin tasarım ve imalat süreçlerinde pratikteki uygulanabilirliği aktarılmıştır. Son uygulamada Montaj-FMEA çalışmasına TRIZ' in entegrasyonuna çalışılmış, TRIZ ile problemlere yaratıcı ve kalıcı aksiyonlar alınarak montaj prosesinde optimum çözümün bulunabileceği ve hata maliyetlerinin düşürülebileceği uygulamaların sonuçları ile değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** TRIZ, FMEA, optimizasyon, problem çözme

**ABSTRACT**

In order to find solutions to the present and/or potential problems, firstly root causes have to be detected correctly and analyzed thoroughly. Today, FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) is used by many national and international companies to determine and analyze the source of problems and eliminate their causes. Problems are detected and analyzed via FMEA, but their elimination or reduction of their effects depends on the invention capability of persons. The fact, that individuals can not always find creative and permanent solutions to problems, causes delay in the FMEA process and therefore creates a risk to the delivery of reliable products with high quality. In order to find optimum solutions, individuals have to gain the ability of being creative and should learn how to approach the problems systematically, using the available information and the necessary techniques. It might seem that creativity is something inborn, but on the other hand using some techniques can dramatically improve creativity. TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving), developed by Genrich Altshuller, is one of such techniques.

In this study, TRIZ method and its solution tools are introduced and potential future researchers are provided with a perspective on TRIZ and it is explained how to use TRIZ methodology to eliminate the problems in the FMEA process, which is nationally and internationally widely used to detect and eliminate possible failures of products. Three applications are introduced in this thesis. On the first two applications, TRIZ is adapted to the design and production process to show its practical applications. TRIZ is tried to be integrated to an Assembly-FMEA at the last application and it is shown that by taking inventive and permanent actions, solutions can be found to the problems and cost of failures can be reduced using TRIZ. Its impacts on the processes are summarized via practical examples in the applications.

**Key words:** TRIZ, FMEA, optimization, problem solving

**İÇİNDEKİLER**

Sayfa

TEZ ONAY SAYFASI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	v
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
EKLER DİZİNİ.....	x
GİRİŞ.....	1
<b>1. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>3</b>
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>6</b>
2.1. Problem Çözme ve Hata Önleme.....	6
2.1.1. Problem çözme yaklaşımı.....	7
2.1.2. Problem çözme ve hata önleme metotları ile optimum çözümü bulma.....	7
2.1.3. TRIZ ve FMEA arasındaki ilişki.....	7
2.2. FMEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi).....	9
2.2.1. FMEA' nın uygulanması.....	11
2.2.2. FMEA' nın hedefleri ve özellikleri.....	11
2.2.3. FMEA çeşitleri.....	12
2.2.4. FMEA ekibi.....	13
2.2.5. Ürün FMEA.....	14
2.2.6. Proses FMEA.....	15
2.2.7. FMEA uygulanma akışı.....	15
2.2.7.1. Önem.....	18
2.2.7.2. Olasılık.....	18
2.2.7.3. Yakalanabilirlik.....	20
2.3. TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi).....	24
2.3.1. TRIZ nedir?.....	24
2.3.2. Yaratıcılık seviyeleri.....	26
2.3.3. TRIZ' in yapısı ve çözüm araçları.....	27
2.3.4. İdeal çözüm.....	27
2.3.5. Teknik sistemlerin evrimi.....	28
2.3.6. Çelişkiler.....	33
2.3.6.1. Teknoloji kaynaklı çelişkiler.....	34
2.3.6.2. İnsan kaynaklı çelişkiler.....	34
2.3.6.3. Doğal çelişkiler.....	34
2.3.7. Çelişkiler matrisi.....	35
2.3.7.1. Temel 40 yaratıcı prensibin açıklanması.....	37
2.3.8. ARIZ (Yaratıcı problem çözme algoritması).....	42
2.3.9. Kaynaklar.....	44

2.3.10. Madde alan analizi ve 76 Standart çözüm.....	44
2.4. Montaj Süreci.....	47
2.4.1. Montaj ve montaj hattı çeşitleri.....	48
2.4.2. DFA (Montaj İçin Tasarım).....	50
2.5. Uygulamalar.....	53
2.5.1. Uygulama-1.....	53
2.5.1.1. Üretim sürecindeki sorunlar.....	53
2.5.1.2. Problemin tanımlanması.....	54
2.5.1.3. Çözüm yollarının aranması.....	54
2.5.1.4. TRIZ' in probleme uygulanması.....	55
2.5.1.5. TRIZ uygulama sonuçları.....	60
2.5.2. Uygulama-2.....	62
2.5.2.1. Kalıp imalat süreci.....	62
2.5.2.2. TRIZ' in imalat problemine uygulanması.....	63
2.5.2.3. TRIZ' in imalat sürecine etkileri.....	66
2.5.2.4. TRIZ uygulama sonuçları.....	70
2.5.3. Uygulama-3: TRIZ' in FMEA' ya entegrasyonu.....	72
2.5.3.1. Problemin tanımlanması.....	73
2.5.3.2. FMEA' nın değerlendirilmesi.....	74
2.5.3.3. TRIZ ile probleme çözüm arama.....	75
2.5.3.4. TRIZ' in FMEA' ya entegrasyon uygulama sonuçları.....	81
SONUÇ.....	83
KAYNAKLAR.....	85
EKLER.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	89
TEŞEKKÜR.....	90

## **KISALTMALAR DİZİNİ**

- ARIZ - Yaratıcı/Yenilikçi Problem Çözme Algoritması  
DFA - Montaj İçin Tasarım  
FMEA - Hata Türü ve Etkileri Analizi  
İPK - İstatistiksel Proses Kontrolleri  
RÖS - Risk Öncelik Sayısı  
TRIZ - Yaratıcı Problem Çözme Teorisi



**TABLolar DİZİNİ**

Sayfa

Tablo 2.1	FMEA Önem Değerlendirme Tablosu.....	18
Tablo 2.2	Ürün FMEA Olasılık Değerlendirme Tablosu.....	19
Tablo 2.3	Proses FMEA Olasılık Değerlendirme Tablosu.....	19
Tablo 2.4	Ürün FMEA Yakalanabilirlik Değerlendirme Tablosu.....	20
Tablo 2.5	Proses FMEA Yakalanabilirlik Değerlendirme Tablosu ve Kontrol Yöntemleri.....	21
Tablo 2.6	Teknolojik Sistemlerin Evrim Kalıpları.....	31
Tablo 2.7	Mühendislik Değişkenleri.....	35
Tablo 2.8	Yaratıcı Prensipler.....	36
Tablo 2.9	İlgili Mühendislik Parametreleri ve Çelişkiler Matrisi.....	55
Tablo 2.10	Örnek Uygulama İçin Çelişkiler Matrisi.....	64
Tablo 2.11	Operasyon Süreleri, Operatör Sayıları ve Operasyonlarda Elde Edilen Parça Sayıları.....	67
Tablo 2.12	Örnek Üretim Miktarı İçin Kazançların Karşılaştırılması.....	70
Tablo 2.13	Eski ve Yeni İmalat Süreci Karşılaştırması.....	70
Tablo 2.14	TRIZ Uygulaması Öncesi Mevcut FMEA Çalışmasının Bir Kısmı.....	74
Tablo 2.15	Örnek Uygulama İçin Çelişkiler Matrisi.....	76
Tablo 2.16	TRIZ Sonrası FMEA Değerleri.....	81
Tablo 2.17	TRIZ Uygulama Öncesi ve Sonrası Karşılaştırma.....	81

**ŞEKİLLER DİZİNİ**

Sayfa

Şekil 2.1	Hata ve Maliyet İlişkisi.....	10
Şekil 2.2	FMEA' nın Özellikleri.....	11
Şekil 2.3	Temel FMEA Adımları.....	16
Şekil 2.4	FMEA Süreç Akışı.....	17
Şekil 2.5	Örnek FMEA Formu.....	23
Şekil 2.6	TRIZ Sorun Çözme Metodu.....	26
Şekil 2.7	Deneme Yanılma ve TRIZ ile Çözüm Arama.....	27
Şekil 2.8	Taşıma Sisteminde Alt ve Üst Sistemler.....	29
Şekil 2.9	Teknik Sistemlerin Evrimi.....	30
Şekil 2.10	Çelişki Türleri.....	33
Şekil 2.11	Madde Alan Analizi ile Çözüme Ulaşma.....	45
Şekil 2.12	Montaj Çeşitleri.....	49
Şekil 2.13	Geri Dönüş Hattından Bir Görüntü.....	58
Şekil 2.14	Geri Dönüş Hattından Taşıma Tablaları ile Beraber Bir Görüntü.....	58
Şekil 2.15	Geri Dönüş Hattı ve Yardımcı Elemanlar.....	59
Şekil 2.16	Eski ve Yeni Sistemin Karşılaştırılması.....	60
Şekil 2.17	Temel Kalıp İmalat Adımları.....	62
Şekil 2.18	İki Farklı Operasyonun Tek Kalıpta Toplanması.....	65
Şekil 2.19	İki Farklı Şekillendirme Durumu.....	66
Şekil 2.20	A tipi ve B tipi.....	73
Şekil 2.21	Tasarlanan Aparat ve Kontrol Yüzeyleri.....	78
Şekil 2.22	Parça Sensör Oturma Yüzeyleri ve Hava Delikleri.....	78
Şekil 2.23	Sistemin Çalışması.....	79
Şekil 2.24	Doğru Parçayı Konumlandırma ve Yanlış Parçayı Konumlandırma.....	79
Şekil 2.25	A ve B Parçaları Hava Kontrol Delikleri.....	80
Şekil 2.26	Aparatın Son Durumu.....	80

**EKLER DİZİNİ**

Sayfa

Ek 1	Çelişkiler Matrisi.....	88
------	-------------------------	----

## GİRİŞ

Artan rekabet ortamı ile beraber firmaların pazar paylarını artırabilmeleri ve rekabetçi olabilmeleri için müşteri memnuniyetini sağlamaları gerekmektedir. Müşteri memnuniyeti, günümüz rekabet ortamında en önemli faktörlerden biridir. Müşteri memnuniyetinin sağlanmasının en önemli şartlarından biri, müşteriye zamanında, ucuz ve hatasız ürün teslim etmektir. Firmalar hatasız üretim yapabilmek ve müşteri memnuniyetini sağlayabilmek için tasarım, imalat ve montaj süreçlerinde çıkmış ya da çıkabilecek problemlere çözüm aramak ve düşük maliyet ile problemlere çözüm bulmak zorundadırlar.

Her alanda büyük bir rekabetin yaşandığı günümüzde, firmalar rekabet edebilmeleri ve kendilerini sürekli geliştirebilmeleri için araştırma ve geliştirmeye önem vermeli ve kaliteli üretim yapmalıdırlar. Araştırma ve geliştirmenin sanayide etkinliği artırabilmek için ürün know-how' ına sahip olunmalıdır. Firmaların teknolojik bilgi birikimini sağlaması karşılaştıkları problemlere çözüm üretmelerinde özgünlük sağlayacak ve çözüm alma sürecini hızlandırmış olacaktır. Sanayinin artan rekabet ortamında, rekabetçi ürünler üretebilmesi için tasarım, imalat ve montaj süreçlerinde yenilikçi fikirleri ön plana çıkarması ve yeni optimizasyon tekniklerini tasarım, imalat ve montaj gibi üretimin ana proseslerine entegre etmesi gerekmektedir. Klasik yöntemlerin uygulandığı tasarım ve üretim aşamalarında karşılaşılan sınırlamalar ürün ve süreçlerin iyileştirilmesine engel olmakta, problemlere çözüm getirilse dahi optimum sonuçlar elde edilememektedir. Bu sorunlar yaratıcı optimizasyon ve problem çözüm yöntemlerinin tasarım ve üretim süreçlerine entegrasyonunu zorunlu hale getirmektedir. Firmalar üretim yapmak ve üretim kalitesini gün geçtikçe artırmak zorundadır. Bu nedenle sektör kuruluşlarının tasarım, imalat ve montaj süreçlerindeki problemlere optimum çözümler bulup müşteri memnuniyetini sağlamaları, istenen özelliklerde ürünleri en kısa zamanda ve düşük maliyetlerde üretmeleri için yeni teknikleri kullanmaları, üretim ve lojistik proseslerinde ve organizasyon yapılarında düzenlemeler yapmaları gerekmektedir.

Tasarım, imalat ve montaj süreçlerindeki problemlere çözüm aramak için birçok yöntem geliştirilmiştir. Özellikle son yıllarda yalın üretim, tam zamanında üretim gibi yaklaşımların ortaya çıkması bu alanlarda yapılan araştırmalara olan ilgiyi her geçen gün artırmıştır.

Problem çözme metotlarında aranan en önemli özellik, problemlerin ortaya çıkmadan çözüm yollarının sunulmasıdır. Meydana gelen problemin çözülmesi için yapılacak çalışmanın, problem oluşmadan olası problemlere karşı alınacak önlemlerden maliyet bakımından fazla olacağı açıktır. Maliyetin rekabet ortamındaki payı büyük olduğundan, firmalar olası problemlere akılcı ve maliyeti düşük çözümler bulmak için arayış içindedirler.

Montaj operasyonu, tasarımı ve üretimi yapılan ürünün müşteriye ulaşmadan önceki son aşamasıdır. Montaj operasyonunda oluşabilecek hatalar fark edilmediğinde hataların müşteriye kadar ulaşması kaçınılmazdır. Müşteriye hatalı ürün teslimi, üretici firmaya getireceği maliyet kaybı yanında, pazarda prestij kaybına da neden olur. Saydığımız bu etkenler montaj operasyonlarına ayrı bir önem getirmekte ve çıkabilecek olası problemler için çözüm yolları aranması gerekliliğini zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışma, son yıllarda endüstriyel uygulamalarda kullanılmaya başlanan TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi) metodolojisi ile tasarım ve imalat süreçlerinde karşılaşılan problemlere nasıl çözüm getirilebileceği ile ilgilidir. İlk olarak, temel açıklamalar verilmiş ve takip eden bölümlerde TRIZ' in endüstriyel uygulamalarda nasıl kullanılacağı örnek endüstri uygulamaları ile gösterilmiştir. Diğer bir çalışma montaj süreci için yapılan örnek bir FMEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi) çalışmasına, TRIZ yönteminin entegrasyonuna yöneliktir. Bu çalışmada TRIZ' ın montaj iyileştirme çalışmalarında nasıl kullanılacağı gösterilmiştir. Son bölümde uygulamalardan elde edilen sonuçlar ile ilgili açıklamalar verilmiştir.

## 1. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Üretime dayalı çalışan firmalar üretim yapmak ve üretim kalitelerini artırmak için her geçen gün yeni optimizasyon tekniklerini denemekte ve problemlerine düşük maliyetli, çabuk ve optimum çözümler üretmek için çalışmalar yapmaktadırlar. Yalın üretim, tam zamanında üretim, eşzamanlı mühendislik, esnek üretim ve iş süreçlerinin iyileştirilmesi gibi sistemler temelde üretim süreçlerindeki israfların ortadan kaldırılmasını amaçlar. Kaliteli üretim yapmak, süreçleri iyileştirmek ve optimum çözüm bulabilmek için kullanılan tekniklerden ikisi olan TRIZ ve FMEA yöntemlerinin de kullanıldığı birçok çalışma yapılmıştır. Son yıllarda yapılan başlıca çalışmalar kronolojik sıraya göre aşağıdaki gibidir.

Almannai ve ark. (2008), FMEA ve QFD tekniklerini birlikte kullanarak üretim otomasyon sistemlerinin seçimi için yaptıkları çalışmada, QFD' nin isteklerin ve alternatiflerin en iyi şekilde belirlenmesine, FMEA' nın ise risklerin belirlenmesine yardımcı olabileceğini belirtmişler ve çalışmalarında örnek bir uygulamaya yer vermişlerdir.

Bligh (2006), TRIZ ve yalın düşünce arasındaki ilişkiyi incelemiştir. TRIZ ve yalın düşünce arasındaki ilişkiyi anlatmış, TRIZ' in yalın düşüncede kullanılabileceğini ve ürünlerin ya da şirketlerin geliştirilme süreçlerinde iki yöntemin birlikte yararlı olabileceklerini söylemiştir.

Shirwaiker (2006), TRIZ metodunun imalat alanı ile ilgili uygulandığı örnek çalışmaları anlatmıştır. TRIZ her ne kadar genelde tasarım ya da ürün geliştirmede kullanılsa da Shirwaiker verdiği TRIZ imalat uygulamaları ile TRIZ' in endüstrideki imalat problemlerine de uygulanabileceğini göstermiştir.

Taşan (2006), bir otomotiv sanayi işletmesine Tasarım FMEA' yı uygulamış, FMEA' yı güvenilirlik bağlantıları ile beraber değerlendirmiştir.

Çılsal (2005), talaşlı imalatta karşılaşılan üretilebilirlik problemlerine çözüm önerileri getirmek için DFM (Üretim İçin Tasarım) ve problem çözme tekniklerinden yararlanarak çözüm önerilerini belirlemiş ve süreçteki temel özelliklerin çelişkilerini ortadan kaldırmak için TRIZ matrisine benzer bir matris oluşturmuştur. Tanımladığı yöntemi iki sanayi uygulamasında ele almıştır.

Hacıevliyagil ve ark. (2005), stratejik planlama ve kalite yönetiminde TRIZ metodunun kullanılabilmesi alanları belirtmişlerdir.

Parlakoğlu (2004), Montaj İçin Tasarım (DFA) yöntemine TRIZ' in entegrasyonuna çalışmıştır. Montaj operasyonunda en sık kullanılan 27 değişkeni ve bu değişkenler arasındaki çelişkileri belirlemiş, belirlediği çelişkilerin ortadan kaldırılmasında DFA metodunun prensiplerini kullanmıştır.

Gilchrist (2003), FMEA çalışmasına maliyet analizinin de içerilebileceği bir model önermiştir.

Kapucu (2003), TRIZ' in problem çözme araçlarından biri olan teknik sistemlerin gelişimini tanıtmış ve bir mühendislik problemine uygulanmasını aktarmıştır.

Akçakır (2002), bir işletmenin en çok sorun yaşadığı ürününe FMEA uygulamış, hata modlarının tespitinde QFD' yi (Kalite Fonksiyon Yayılımı) kullanmış ve hata modlarının çözümünde ise TRIZ tekniğinden faydalanmıştır. 3 tekniği FMEA altında birleştirmiş ve uygulanabilirliğini göstermiştir.

Feo ve Bar-El (2002), Design for Six Sigma ve TRIZ metodunun ortaklaşa kullanımı ile yaratıcı ürün tasarımı ve bu ürünlerin hata düzeylerinin 6 Sigma seviyesinde olmasını ele almışlardır.

Yenginol, F., (2002), TRIZ metodolojisini, Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmelerin (KOBİ) teknik sorunlarını çözmelerinde ve yenilik yapmalarında uygulayabilecekleri ve bazı maliyetlerinden kurtulabilecekleri bir yöntem olarak tanıtmıştır.

Kapucu ve ark. (2001), Toplam Kalite Yönetimi uygulamalarında çözülmesi zor olan sorunlar için, bir çözüm tekniği olarak TRIZ' in kullanılabilirliği anlatmıştır. Yaptıkları çalışmada Kalite Yönetimi felsefesinin sürekli iyileştirmeyi hedeflediğini, bu felsefeyi uygulayan işletmelerin yenilikçilik ve yaratıcılık gerektiren problemlerde TRIZ metodolojisinden faydalanabileceklerini göstermeye çalışmıştır.

Jugulum ve Şefik (1998), küresel pazarda işletmelerin ürünlerinin ve proseslerinin geliştirmelerini sürekli hale getirmeleri, sağlam üretim stratejileri şekillendirmelerinde Toplam Kalite Yönetimi (TQM: Total Quality Management) prensiplerinin Kalite Politikası Yayılımı (QPD: Quality Policy Deployment), Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD: Quality Function Deployment), İstatistiksel Proses Kontrol (SPC: Statistical Process Control), Yaratıcı Problem Çözme Teorisi (TRIZ: Theory of Inventive Problem Solving) ve Taguchi Metodları (Taguchi Methods) ile birleştirilmesinin yararlı olacağını anlatmışlardır.



## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Problem Çözme ve Hata Önleme

Günümüzde şirketlerin müşteri memnuniyetini sağlamalarının en önemli şartlarından biri müşteriye hatasız ürün teslim etmeleridir. Müşteriye hatasız ürün gönderebilmenin ve müşteriye memnun edebilmenin yolu tasarım, üretim ve montaj süreçlerindeki hataları önlemek ve karşılaşılan problemlere yaratıcı çözümler bulabilmekle sağlanır. Problem çözme ve hata önleme birbirini tamamlayan, bazen aynı soruna cevap olabilen tekniklerdir.

Firmalar problemlere yaratıcı çözümler araştırırken maliyet faktörünü göz önünde bulundurmaldırlar. Yüksek maliyetli bir çözüm, problemin önüne geçebilmekte fakat firma için istenen optimum çözümü sağlayamayabilmektedir.

Sektör kuruluşları için müşteri, tamamlanmış ürünün teslim edileceği firma/müşteri olabileceği gibi firma içindeki üretim akışına göre bir sonraki departman da olabilir. Hataların önlenmesi ve problemlere çözümler üretilebilmesi için departmanlar arasındaki ilişkilerin ve takım çalışmasının üst seviyede olması gerekir. Bir kişinin göremediği çözümü başka bir çalışan görebilir. Hatalara çözüm aramada takım çalışması üst seviyede olmalıdır.

Problem çözme tekniklerinin bir çoğu takım çalışması üzerine kurulmuştur. Bunun nedeni, biraz önce ifade ettiğimiz gibi bir kişinin göremediği çözümü diğer bir çalışanın görebilmesi, departmanlar arası iletişimin artırılması ve takım duygusunun yaratılmasıdır.

### **2.1.1. Problem çözüme yaklaşımı**

Bir problem ile karşı karşıya kalındığında problem çözümü için nasıl yol izlenmelidir? Problem çözümü ve hataları önlemek için aşağıdaki sorular sorulmalıdır:

- Problem nedir?
- Problem kaynağı nedir?
- Problemin görünen etkileri ve olası etkileri neler olabilir?
- Problem ortadan kaldırmak için nasıl bir yol izlenmelidir?
- Hatanın tekrar etmemesi için alınacak önlemler ve izlenecek yol nedir?

gibi sorulara cevap aranır. Problem için çözüm geliştirildikten sonra çözümün etkileri incelenmeli ve gelecekte oluşabilecek problemler için bilgi sahibi olunmalıdır.

### **2.1.2. Problem çözüme ve hata önleme metotları ile optimum çözümü bulma**

Firmaların problemlere çözüm ararken buldukları çözümün, optimum çözümü vermesi gerekir. Optimum çözüm o anki şartlara göre sağlanır. Problem ya da hata için çözüm aranırken yapılan takım toplantılarında, problem için üretilecek çözümün hangi şartları sağlaması gerektiği belirtilir. Bu şartlar maliyet, dayanım, kullanma süresi, kalite gibi faktörler olabilir.

Tasarım ve üretim süreçlerinde optimum çözümü sağlamak, firmanın eldeki imkanlardan en iyi şekilde yararlanmasını ve süreçlere en verimli etkiyi sağlayan çözümlerin bulunmasını sağlar. Problem çözümünde ve hataları önlemede optimum çözümü bulmak, firmaların rekabet gücünü artırabileceği gibi olası hatalardan meydana gelebilecek prestij kayıplarının da önüne geçebilecektir.

### **2.1.3. TRIZ ve FMEA arasındaki ilişki**

Tasarım, imalat ve montaj süreçlerinde çıkan ya da çıkabilecek potansiyel hataları saptayıp, hatalara yaratıcı çözümler getiren yeni teknikler son yıllarda sanayide kullanılmaya başlanmıştır. Kullanılan bu tekniklerden biri de FMEA ve TRIZ yöntemleridir.

Kurumsal, kaliteye ve müşteri memnuniyetine önem veren firmalarda, tasarladıkları ve ürettikleri ürünlerin, üretim ve lojistik süreçlerinin olası hatalarını saptayabilecek yöntemlerden biri olan FMEA yöntemini uygulamayan firma günümüzde yok gibidir. FMEA olası hataları saptayan, hataların önemini vurgulayan ve olası hatalar için çözüm yolları öneren bir tekniktir. FMEA çalışmalarında olası hatalar saptanmakta, hataların önemi, meydana geldiğinde yaratabileceği etki ve oluşabilme olasılığı saptanmaktadır. FMEA çalışmalarının potansiyel hataların ortadan kaldırılması ile ilgili aşamasında, sorunlara yaratıcı çözümler bulmak oldukça önemlidir. FMEA çalışması ile mevcut ve/veya olası hatalar saptanmakta hataların analizi yapıp önem dereceleri belirlenmekte, fakat hatalara yönelik alınacak aksiyonlar bireylerin kendi yaratıcılık kabiliyetlerine kalmaktadır. Belki de yapılan çalışmanın en önemli kısmı burasıdır. Çünkü mevcut ya da potansiyel hataların yaratıcı fikirlerle ve düşük maliyet ile ortadan kaldırılması günümüz işletmelerinin en önemli sorunlarından biridir. Mevcut durumda hatalara çözüm yolları aramak temeli beyin fırtınası tekniğine dayanan problem çözme teknikleri ile gerçekleşmektedir. Beyin fırtınası tekniği ile oluşturulan gruplar olası ya da mevcut problemlere çözüm bulmaya çalışırlar. Gerçekleştirilen toplantılarda katılımcılar çekinmeden fikirlerini söyleyerek olası ihtimalleri değerlendirirler. Yapılan hatalara çözüm bulma toplantıları süreci uzatmaktadır. TRIZ' in diğer problem çözme tekniklerinden ayrıldığı en önemli noktalardan biri; diğer problem çözüm tekniklerinde ekip çalışması daha yoğunken, TRIZ birtakım bilgi ve teknikleri kullanmamızı sağlayarak bireysel olarak problemlere yaratıcı çözümler bulmamıza yardımcı olur. Yaratıcılık doğuştan gelen bir yetenek olarak görülse de TRIZ yöntemi ile bireylere birtakım teknikler aktararak kişisel yaratıcılık yeteneği kazandırılır.

FMEA' nın en önemli adımlarından biri olan mevcut ve/veya olası hatalara iyileştirme önlemlerinin alınma ve değerlendirme süresinin mümkün olduğunca azaltılması ve hatalara gerekli önlemlerin ivedilikle alınması gerekir. TRIZ metodu, FMEA metoduna olası hataların ortadan kaldırılması için yapılacak çalışmalar aşamasında entegre edilebilir. İleriki bölümlerde anlatılacak (*Bkz. Bölüm 2.3*) TRIZ yöntemi ve teknikleri ile bireysel yaratıcılık ön plana çıkarılarak bu süre kısaltılabilir ve mevcut ve/veya olası hatalara optimum çözümler bulunabilir.

## 2.2. FMEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi)

FMEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi), bilinen veya olası hataların ve risklerin önlenmesine odaklanan ve bu riskleri ortadan kaldırmak için önlemler almaya yol gösteren bir tekniktir. FMEA, İngilizce’deki “Failure Mode and Effects Analysis” sözcüklerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Türkçe’deki en yaygın karşılığı “Hata Türü ve Etkileri Analizi” olarak geçmektedir.

Gelişen rekabet ortamı ile birlikte firmaların pazar paylarını arttırmaları ve rakip firmalara ile daha iyi rekabet edebilmeleri için müşteri memnuniyetini sağlamaları gerekmektedir. Bunun yolu da müşteriye teslim edilen ürünün hatasız ve güvenilir olmasıdır. Bu nedenle günümüzde hata önleyici birçok teknik kullanılmaktadır. Bunlardan birisi de FMEA dır.

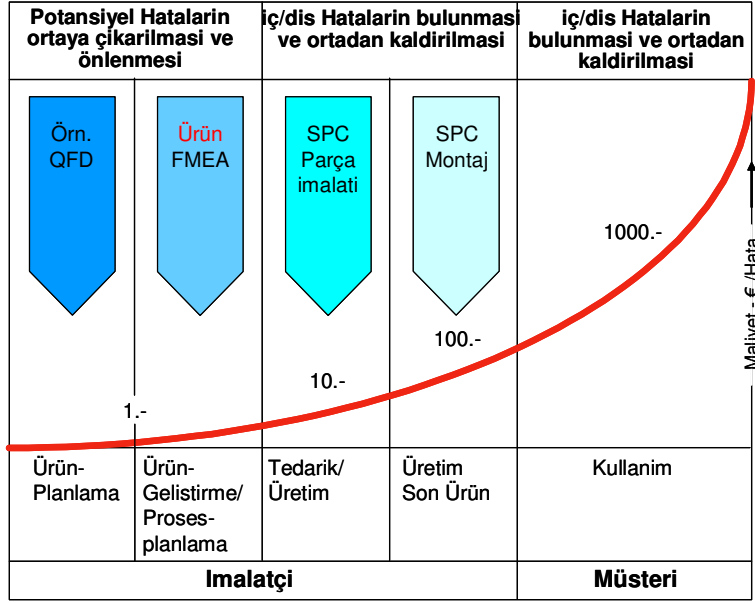
FMEA ilk olarak 1963 yılında NASA tarafından kullanılmış, ilk endüstriyel uygulaması ise 1977 yılında otomobil endüstrisi kuruluşlarından biri olan Ford tarafından yapılmıştır (Gilchrist, 1993).

FMEA uygulamalarına otomotiv sanayinde 1977 yılında başlanmış ve seksenli yılların başında ABD, Japonya ve Avrupa’ nın birçok ülkesinde ele alınmaya başlanmıştır.

FMEA olası hataları önceden görerek riskleri ortadan kaldırmayı ve ürün ile proseslere sistematik analiz yoluyla yaklaşarak süreçleri iyileştirmeyi amaçlar.

“Günümüzde havacılık, otomotiv, nükleer enerji, elektronik gibi üretim sektörlerinde ve sağlık, turizm gibi hizmet sektörlerinde FMEA ile ilgili çalışmalar yürütülmektedir” (Taşan, 2006).

Ürün, proses veya hizmette oluşacak hataların maliyet üzerine etkisinin olacağı açıktır. Bu nedenle hataların oluşmadan önlenmesi oldukça önemlidir. Çünkü hatanın önlenmesi ne kadar gecikirse maliyete etkisi artar. Hata-maliyet ilişkisi *Şekil 2.1* de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Hata ve Maliyet İlişkisi (Anonim, 2008)

FMEA çalışmasının firmalarda mümkün olan en kısa zamanda başlatılması, olası hataların önüne geçilmesini sağlar. FMEA hata oluştuğundan sonra çözüm arayan bir teknik değil; olası hataların tespit edilip, hata kaynaklarını bulup bu hatalar müşteriye ulaşmadan çözüm yolları arayan bir tekniktir.

FMEA çalışması bir ekip işidir ve ekibin çalışmalarına yönetimin desteği alınmalıdır. Yapılacak çalışmaya en üst yöneticiden en alt çalışana kadar herkesin sahip çıkması ve katkıda bulunması gerekir.

Akçakır (2002), FMEA çalışmalarının yapılmasının bazı sebeplerini şu şekilde açıklamıştır:

1. Müşteri isteklerinin nasıl sağlanacağını belirleyerek, müşteri memnuniyetinin artırılması
2. Güvenilirlik ve üretim ile ilgili süreçleri daha tasarım veya tasarım aşamasında netleştirerek geliştirme veriminin (zaman ve masraf) iyileştirilmesi
3. Tüm ilgili konuların, takım elemanları, diğer çalışanlar, tedarikçiler, üst yönetim, müşteriler vb. tarafından anlaşılabilirliğini sağlayacak şekilde oluşabilecek risklerin dökümanite edilmesi ve belirli değerlere göre derecelendirilmesi

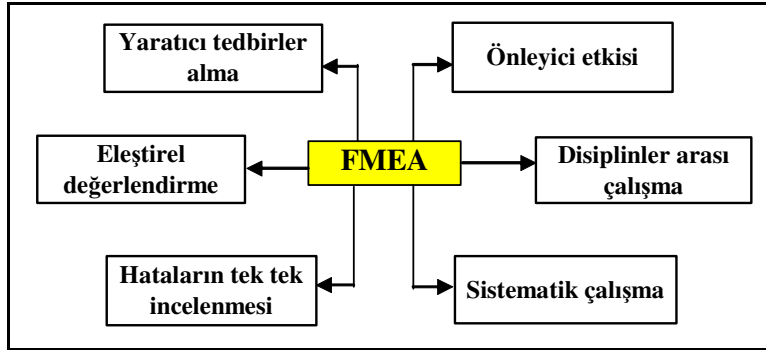
### 2.2.1. FMEA' nın uygulanması

FMEA çalışmasının aşağıdaki durumlarda uygulanması çalışmanın etkinliği ve firmanın çalışmadan yarar sağlaması açısından önemlidir:

- Yeni bir ürün geliştirilmesinde ya da mevcut üründe değişiklik yapıldığında
- Yeni bir proses oluşturulurken ya da mevcut proste değişiklik yapıldığında
- Sistemde, proste kritik veya önemli olan parça ve ürünler kullanılırken ya da geliştirilirken
- Mevcut ürünün kullanım koşulları değiştirildiğinde
- Müşteri talepleri doğrultusunda

### 2.2.2. FMEA' nın hedefleri ve özellikleri

FMEA' nın özellikleri (Şekil 2.2) ve hedefleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:



Şekil 2.2: FMEA' nın Özellikleri

- Müşteriye hatasız ve müşteri isteklerine uygun ürünler gönderilmesi ile müşteri tatmininin sağlanması
- Farklı departmanlardan oluşan ekip üyeleri sayesinde ekip çalışmasının ve bölümler arası koordinasyonun artması
- Eleştirel değerlendirmeye olanak sağlaması
- Sistematik çalışma ve problemlere yaratıcı önlemler alınmasına olanak sağlaması
- Potansiyel risklerin önceden tespit edilerek hataları önleyici tedbirlerin alınması ve hatalardan doğabilecek maliyetlerin azaltılması

- Ürün geliştirme süreci için gerekli olan zaman ve maliyetin azaltılması
- Kendi içinde fonksiyonel bir yapı oluşturduğundan proses ile ilgili bilgilere ulaşımın sağlanması
- Ürünlerdeki hataların erken teşhisi ve kaynağının saptanması
- Ürün geliştirme, tasarım ve proses çalışmalarındaki iyileştirmelerin belgelendirilmesi

### 2.2.3. FMEA çeşitleri

FMEA' nın çeşitleri türleri vardır. Aşağıda yazılı olan FMEA türleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

*Tasarım FMEA:* Tasarımı detaylı inceleyerek belirlenmiş olan hataların üretim gerçekleşmeden çözülmesini ve düzeltici faaliyetlerin uygulanmasını sağlar. Bir ürün tasarım düşüncesi oluştuktan sonra, ürünün ve üretileceği hatların, ürün taşınmasının vb. kalitesini etkileyebilecek etkenleri üretim aşamasına geçilmeden ortadan kaldırmayı ve hataların oluşmamasını amaçlar.

*Proses FMEA:* Belirlenmiş olan proseste olası hataların çözümlenmesini, istenen kalitede üretim yapılmasını amaçlar. Ürünün imalat süresince çıkabilecek sorunlarını önceden önlemeyi amaçlar.

*Ekipman/Makine FMEA:* Proseste kullanılan makine ve ekipmanların satın alımından önce yapılan analizlere odaklanır. Makine, ekipman, kalıp, fikstür, kontrol ekipmanları gibi üretilecek ürünün kalitesini etkileyebilecek üretim araçlarının, doğrulanmasını sağlayarak olası hataların oluşmamasını amaçlar.

*Lojistik FMEA:* Firmaların içindeki bölümlerin, firmaların yan sanayi, tedarikçi ve müşterilerle malzeme ya da bilgi akışının doğru işleyişini sağlamak için oluşturulan FMEA türüdür.

*Hizmet FMEA:* Hizmet fonksiyonları üzerine odaklanarak üretim, kalite ve pazarlama ile birlikte uygulanan bir yöntemdir.

*Sistem FMEA:* Sistemin alt sistemle olan etkileşimlerini inceleyerek, sistem eksikliklerinden doğan sistem fonksiyonları arasındaki hataları önlemeyi amaçlar.

*Yazılım/Donanım FMEA:* Yazılım FMEA bilgisayar yazılımlarının fonksiyonları ile ilgilenirken, donanım FMEA bilgisayar mekanik parçaları ile ilgilenir.

Günümüzde yapılan sadeleştirilmeler ile birlikte yukarıda saydığımız FMEA türleri iki temel FMEA altında toplanmış ve FMEA türleri adı altındaki karışıklıkların ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. FMEA; Ürün-FMEA ve Proses FMEA olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır. Montaj, üretim ve lojistik süreçleri Proses-FMEA altında toplanmış, tasarım, sistem vb. FMEA türleri ise Ürün-FMEA altında toplanmıştır.

#### **2.2.4. FMEA ekibi**

FMEA çalışması farklı departmanlardan gelen katılımcılarla yapılan bir ekip çalışmasıdır. Bu nedenle FMEA çalışmasına başlanmadan önce çalışmalarını yürütecek, takip edecek ve olası problemlere çözüm üretecek ekip üyeleri belirlenir.

FMEA ekibi yapılacak çalışmadan etkilenen bölüm çalışanları ve moderatörden oluşur. Oluşturulacak ekip mümkün olduğunca farklı departmanlardan gelen katılımcılar ile oluşturulmalıdır. Bu sayede departmanlar ile olan iletişim artmakta ve problem çözümüne farklı tecrübelerle sahip kişilerin katılımı sağlanır. Genelde takımı oluşturan üyeler üretim, tasarım, kalite, satın alma, bakım-onarım, mühendislik, malzeme, geliştirme ve sevkiyat gibi bölümlerden katılımcılar ile oluşturulur. Ekibin lideri ise genelde yapılacak FMEA' nın türüne göre belirlenir. Moderatör katılımcılar arasındaki diyalogları sağlayarak üyelerin FMEA' ya aktif katılımlarını teşvik eder. Ekip liderininin belli başlı görevleri arasında yapılacak toplantıların zamanının ve içeriğinin belirlenmesi ile toplantıların yönetilmesini sağlayıp yapılacak çalışmalar ile ilgili ekip üyelerini görevlendirmek ve takibininin sağlamak sayılabilir.

Yapılan FMEA çalışmasında genelde çekirdek ekip ve destek ekip olmak üzere iki ekip bulunmaktadır. Çekirdek ekipler genelde 3-8 kişi arasındadır ve yapılan çalışma ile direkt olarak ilgili halindedirler. Destek ekibi ise ihtiyaç olduğu takdirde diğer



bölmelerden ya da tedarikçi ve müşterilerden seçilerek konu ile ilgili bilgi ve görüş almak için çağrılmış üyelerden oluşur.

Takip eden alt bölümlerde Ürün-FMEA ile Proses-FMEA hakkında bilgiler verilmiş, örnek uygulama Proses-FMEA ile ilgili olduğundan FMEA genel uygulama akışı Proses-FMEA çerçevesinde aktarılmıştır.

### 2.2.5. Ürün-FMEA

Ürün-FMEA çalışması ile yapılan ürünün tasarım ve analiz sonuçları incelenerek ürünlerin fonksiyonları ve özellikleri analiz edilir ve olası hatalara üretime geçilmeden önlem almak için çalışmalar başlatılır. Ürün-FMEA çalışmasında oluşturulan ekibin büyük çoğunluğunu ürün geliştirme ve mühendislik departmanlarında çalışan katılımcılardan olması FMEA çalışmasının daha etkili bir şekilde yürütülmesini sağlar.

Ürün-FMEA çalışmasında incelen ürün hakkında daha detaylı sonuçlar alabilmek için ürün alt birimlere ayrılır. Bu sayede ürünü daha detaylı inceleme imkanı sağlanır ve üretim aşamasında meydana gelebilecek hataların saptanması için hatalara neden olabilecek noktalar belirlenmiş olur.

Ürün-FMEA ile firmaya aşağıdaki faydalar sağlanır:

- Üründe ileride çıkabilecek hataların daha tasarım ve geliştirme aşamasındayken belirlenmesi
- Tasarım aşamasında üründe yapılacak geliştirmelerin önceliklerinin belirlenmesi
- Hatasız bir tasarım ile ileriki üretim aşamalarına kolaylık sağlaması ve bu sayede müşteri memnuniyetin sağlanması
- İmalat ve montaj aşamasında oluşabilecek hataların tasarım aşamasında düşük maliyetle önüne geçilmesi
- Doğru ve iyi irdelenmiş bir Ürün-FMEA çalışması ile ürünün üretim prosesleri için yapılacak Proses-FMEA çalışmasına sağlam bir zemin hazırlanması

### 2.2.6. Proses FMEA

Üretim, montaj ve lojistik gibi proses aşamalarında proseslerin görev ve özellikleri analiz edilerek, oluşabilecek hataların ortadan kaldırılması ve kaliteli bir üretim yapılması için uygulanır. Diğer FMEA uygulamalarına göre imalat odaklı çalışan firmalar tarafından uygulaması daha fazla yapılmaktadır. Bunun nedeni olarak firmaların müşterilerine hatasız ürün sevk etme, proseslerindeki hatalardan ve kayıplardan arınarak yalın ve kaliteli üretim yapma istekleridir.

Proses-FMEA ile üretim ve montaj hatlarındaki potansiyel hatalar belirlenir ve bu hataların müşteriye ulaşması engellenerek prosesin kontrol altında tutulması sağlanır. Proses-FMEA için en doğru girdiler, Ürün-FMEA sonuçlarından elde edilir.

Proses-FMEA çalışması ile firmaya aşağıdaki faydalar sağlanır:

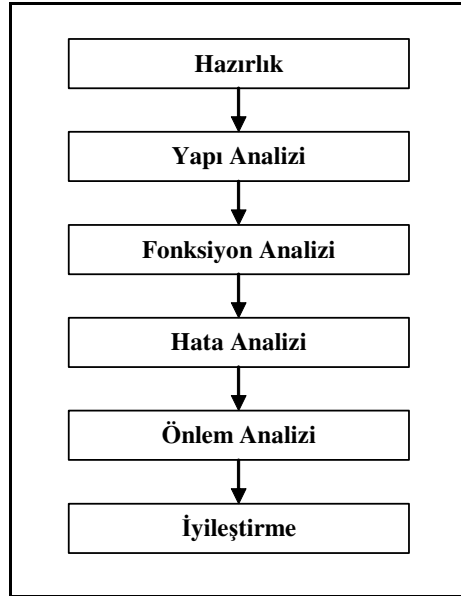
- Proses aşamasındaki potansiyel hataların belirlenmesi ve prosesdeki giderilecek hataların önceliklerinin belirlenmesi
- Olası hataların ve kayıpların ortadan kaldırılması ile kaliteli ve yalın bir üretim yapılmasına yardımcı olması
- Bir kontrol planı oluşturulmasını sağlaması ve proseslere yapılacak iyileştirme ve yatırımlara yardımcı olması
- Proses akışının kontrolüne olanak sağlaması

### 2.2.7. FMEA uygulanma akışı

FMEA çalışmasının uygulama aşamasındaki temel adımlar bu akışı oluşturmaktadır. FMEA çalışmasında takım oluşturulduktan sonra uygulama aşamasına geçilir. Ekip üyelerine yapacakları çalışma ile ilgili izleyecekleri yol gösterilir ve hazırlanan dokümanlar incelenir. Böylece ekip üyeleri yapacakları çalışmada izleyecekleri yol hakkında bilgi sahibi olurlar.

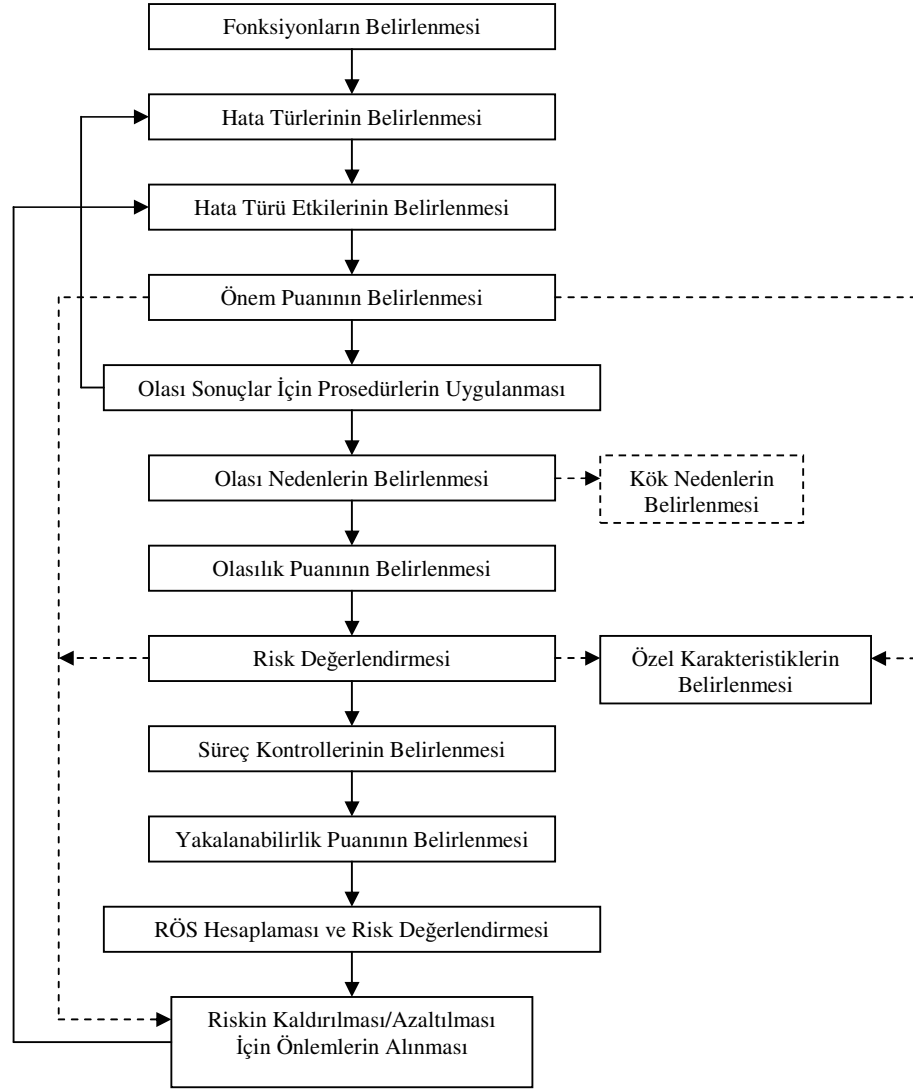
Yapılan FMEA uygulaması temelde 6 adımdan (*Şekil 2.3*) oluşur.

- 1- Hazırlık Aşaması: Ekip üyeleri, ekip lideri, moderatör ve iş planlarının hazırlanması yapılır.
- 2- Yapı Analizi: FMEA' nın proses akış diyagramları oluşturulur. Ürünün sistem yapısı oluşturularak FMEA' nın ana yapısı ortaya çıkarılır.
- 3- Fonksiyon Analizi: Proses akışındaki yapının fonksiyonel özellikleri proses akışında belirtilir. Üründe istenen fonksiyonlar belirlenir.
- 4- Hata Analizi: Olası hataların analizi yapılır.
- 5- Önlem Analizi: Hatanın önemi, olasılığı ve yakalanabilirliği değerlendirilerek Risk Öncelik Sayısı (RÖS) hesaplanır.
- 6- İyileştirme: Önem, olasılık, yakalanabilirlik ve RÖS değerine bağlı olarak olası hataların ortadan kaldırılması için iyileştirme önerileri değerlendirilir.



Şekil 2.3 : Temel FMEA Adımları

FMEA' nın detaylı süreç akışı *Şekil 2.4* de görülmektedir. Yukarıda temel adımları veren FMEA çalışmasında ilk aşamada fonksiyonlar tanımlanır. Ürün fonksiyonlarının ve fonksiyonları yerine getiren parçaların tanımlanması yapılır. Bu fonksiyonlarda meydana gelebilecek hata türleri ve hata türlerinin etkileri belirlenir. Bu aşamadan sonra FMEA' nın önemli kısımlarından biri olan hatanın önem, olasılık ve yakalanabilirlik açısından puanlanması yapılır.



Şekil 2.4: FMEA Süreç Akışı (Yılmaz, 2000)

Puanlama aşamasında ekip üyeleri genelde önem, olasılık ve yakalanabilirlik için 1 ile 10 arasında puanlandırma yaparlar. Verilen puanlamaya göre RÖS (Risk Öncelik Sayısı) değeri hesaplanır. Hesaplardan sonra hangi hataların öncelikli olarak ele alınacağına karar verilir ve hatalar için önerilen çözüm yollarının etkileri incelenir. Yapılan iyileştirmelerden sonra yeni hesaplanan RÖS değerinin eskisinden daha küçük olması beklenir. Yeni değer küçük olması önerilen çözümlerin olumlu etkide bulunduğu anlamına gelir. Aşağıda bu hesaplamada kullanılan önem, olasılık, yakalanabilirlik ve RÖS değeri ile ilgili tanımlamalara daha geniş bir şekilde yer verilmiştir.

**2.2.7.1. Önem (Şiddet):** Hatanın müşteriye olan etkisi, hatanın büyüklüğüdür. Hatanın önemi takım üyeleri tarafından belirlenir. Hatanın öneminin belirlenmesinde kullanılan değerlendirme kriterleri *Tablo 2.1* deki gibidir. Buradaki etki tanımlamalarının mümkün olduğunca açıklayıcı olması, ekip üyelerinin hatanın önemini tespit etmelerinde daha doğru ve etkili olur. Önemin değerlendirilmesinde hatanın meydana geldiği varsayılarak değerlendirme yapılır ve değerlendirilmede müşteri ya da geliştirme bölümünden 1 kişi olmalıdır.

Tablo 2.1: FMEA Önem Değerlendirme Tablosu

ETKİ	KRİTER	DEĞERLENDİRME
Tehlike	Emniyet ile ilgili arıza. Uyarısız olarak güvenliğe olumsuz etki eder ve/veya yasal hükümleri ihlal eder.	10
Ciddi	Uyarılı olarak güvenliğe etki eder ve/veya yasal hükümleri ihlal eder.	9
Çok Yüksek	Ana fonksiyonlarda arıza. Araç/Ürün kullanılamaz	8
Yüksek	Araç/Ürün fonksiyonları önemli ölçüde kısıtlanmış olarak çalışır.	7
Orta	Araç/Ürün performans derecesi düşük olarak çalışıyor. Önemli kullanım ve konfor sistemleri devre dışı.	6
Düşük	Araç/Ürün performans derecesi düşük. Önemli kolaylık ve konfor sistemlerinin performansı düşük.	5
Çok Düşük	Hata her müşteri tarafından fark edile biliniyor. Araç/Ürün kullanımında bazı rahatsızlıklar yaşanır.	4
Önemsiz	Müşteri çok küçük bir olumsuzluk fark eder. Ortalama sayıda müşteri hatayı fark edebilir.	3
Çok Önemsiz (Hissedilemez)	Araç/Ürün üzerinde çok önemsiz etki. Hata uzman kişi/hassas müşteriler tarafından fark edilebilir.	2
Etkisi Yok	Etki yok.	1

**2.2.7.2. Olasılık:** Hata şeklinin gerçekleşme olasılığı olarak tanımlanabilir. Bir başka deyişle hatanın frekansıdır. Hataları engelleme önlemi bulunmuyorsa olasılık 10 olarak kabul edilir. Olasılık değerinin belirlenmesinde kullanılan değerlendirme tablosu (*Tablo 2.2*) Ürün-FMEA için izleyen sayfadaki gibidir.

Tablo 2.2: Ürün FMEA Olasılık Değerlendirme Tablosu

HATA OLASILIĞI	HATANIN İHTİMALİ	DEĞERLENDİRME
Çok Yüksek: Hata türü/sebebinin ortaya çıkması neredeyse kaçınılmazdır	$\geq 1/10$	10
	1/20	9
Yüksek: Hata türü/sebebi tekrar ederek ortaya çıkar.	1/50	8
	1/100	7
Orta:Hata türü/sebebi ara sıra meydana gelir.	1/200	6
	1/500	5
	1/1000	4
Düşük: Hata türü/sebebi oldukça seyrek ortaya çıkar	1/2000	3
	1/10000	2
Pek Az: Hata türü/sebebi oldukça uzak	$\leq 1/100000$	1

Proses FMEA çalışmasında olabilirliği daha iyi analize edebilmek için istatistiksel verilerden yararlanır. İPK (İstatistiksel Proses Kontrolleri)' dan faydalanmak için proseste İPK uygulanıyorsa yeterlilik ve performans analizlerine bakılır, eğer mevcut proseste İPK uygulanmıyorsa benzer prosteki mevcut değerlere bakılarak onlardan faydalanılır. Proses FMEA için olasılık ve  $C_{pk}^*$  arasındaki ilişkiyi gösteren *Tablo 2.3* deki gibidir.

Tablo 2.3: Proses FMEA Olasılık Değerlendirme Tablosu (Taşan 2006, Anonim 2007)

HATA OLASILIĞI	HATANIN İHTİMALİ	$C_{pk}$	DEĞERLENDİRME
Çok Yüksek: Hata türü/sebebinin ortaya çıkması neredeyse kaçınılmazdır	$\geq 1/10$	<0,33	10
	1/20	0,33	9
Yüksek: Hata türü/sebebi tekrar ederek ortaya çıkar.	1/50	0,51	8
	1/100	0,67	7
Orta:Hata türü/sebebi ara sıra meydana gelir.	1/200	0,83	6
	1/500	1	5
	1/1000	1,17	4
Düşük: Hata türü/sebebi oldukça seyrek ortaya çıkar	1/2000	1,33	3
	1/10000	1,50	2
Pek Az: Hata türü/sebebi oldukça uzak	$\leq 1/100000$	1,67	1

\*  $C_{pk}$ , prosesin yayılımını ve hedef değerden sapmasını kontrol eden, proses yeterlilik indeksidir.

**2.2.7.3. Yakalanabilirlik (Keşfedilebilirlik):** Hatanın müşteriye ulaşmadan fark edilebilme olanağıdır. Oluşan hatanın müşteriye gitmeden ortadan kaldırılması gerekmektedir. Yakalanabilirlik puanının değerlendirilmesinde dikkat edilmesi gereken bir nokta vardır. Yüksek yakalanabilirlik puanı hatayı yakalamamanın düşük olduğu anlamına gelmektedir. Bir başka deyişle yakalanabilirlik puanı yükseldikçe hatayı tespit etmemiz zorlaşmaktadır. Hataları yakalamak için bir önlem alınmamışsa ya da alınan önlemler hatanın müşteride yakalanmasına olanak sağlıyorsa, yakalanabilirlik değeri 10 olarak kabul edilir. Ürün-FMEA için yakalanabilirlik değerlendirmesi *Tablo 2.4* de gösterilmiştir.

Tablo 2.4: Ürün FMEA Yakalanabilirlik Değerlendirme Tablosu

<b>YAKALANABİLİRLİK</b>	<b>KRİTER</b>	<b>DEĞERLENDİRME</b>
İhtimal Dışı	Hata keşfedilememekte veya incelenememektedir	10
Çok Zor	Kontroller ile hatayı keşfetme çok zor	9
Zor	Kontroller ile hatayı keşfetme zor	8
Çok Az	Kontroller ile hatayı keşfetme çok az	7
Az	Kontroller ile hatayı keşfetme az	6
Orta	Kontroller ile hatayı keşfetme orta	5
Ortadan Yüksek	Kontroller ile hatayı keşfetme ortadan yüksek	4
Yüksek	Kontroller ile hatayı keşfetme yüksek	3
Çok Yüksek	Kontroller ile hatayı keşfetme çok yüksek	2
Kesine Yakın	Kontroller ile hatayı keşfetme kesine yakın	1

Proses FMEA da hatanın tespit edilebilirliğini artırmak için proseste kullanılan, kontrol alet ve aparatlarının etkisi yüksektir. Kalibrasyonu yapılmış kontrol aletleri ve proseste alınan hata önleyici yöntemler ile hatanın yakalanma ihtimali artar(Tablo 2.5).

Tablo 2.5: Proses FMEA Yakalanabilirlik Değerlendirme Tablosu ve Kontrol Yöntemleri (Taşan 2006, Anonim 2007)

YAKALANABİLİRLİK	KRİTER	KONTROL*			METOD ARALIĞI	DEĞERLENDİRME
		A	B	C		
Belirsiz	Kesinlikle yakalanamaz			X	Tespit ve kontrol edilemez	10
Çok Uzak	Kontroller ile muhtemelen yakalanmaya caktır			X	Rasgele ve dolaylı kontroller yapılıyor	9
Uzak	Yakalama ihtimali düşük			X	Kontroller göz muayenesi (görsel) ile yapılıyor	8
Çok Düşük	Yakalama ihtimali zayıf			X	Kontroller iki göz (çifte görsel) ile yapılıyor	7
Düşük	Yakalama ihtimali az		X	X	Kontroller İPK vb. metotlar ile yapılıyor	6
Orta	Yakalama belki olabilir.		X		Üretim istasyonu sonrası parçalar master ve ölçüm cihazları ile kontrol ediliyor	5
Kısmen Yüksek	Kontroller ile hatayı yakalama şansı var	X	X		Sonraki üretim istasyonlarda ayar sırasında ölçüm, ilk parça kontrolleri gibi operasyon kontrolleri yapılıyor.	4
Yüksek	Hatayı yakalama ihtimali yüksek	X	X		Üretim istasyonlarda çeşitli seviyede hata önleme çalışmaları yapılıyor: tedarik, seçim, uygulama, doğrulama, ölçme, ayırma	3
Çok Yüksek	Hatayı yakalama çok yüksek	X	X		Üretim istasyonunda hata önleme çalışmaları var: otomatik ölçüm, ayırma	2
Kesine Yakın	Hatayı yakalama kesin	X			Hata önlemeye yönelik proses/ürün tasarımı	1

\* Kontrol metotları;

A: Hata Önleyici/Hatasızlaştırma

B: Cihaz ile Ölçüm

C: Manuel Kontrol



Yukarıda adı geçen tanımlamaların puanlandırılması yapıldıktan sonra RÖS değeri hesaplanır. RÖS ile hangi hata türleri ve sebeplerinin öncelikli olarak ortadan kaldırılacağı kararlaştırılır. Bu değerlendirme yapılabilmesi için bir eşik değeri belirlenir.

$$\text{Risk Öncelik Sayısı (RÖS)} = \text{Önem} \times \text{Olasılık} \times \text{Yakalanabilirlik}$$

Her üç kriter için 10' lu derecelendirme kullanıldığı düşünülürken toplam puanın 1000 (10x10x10) olacağı açıktır. Bu durumda istatistiksel güven seviyesi % 90 kabul edildiğinde eşik değeri 100 olarak elde edilecektir. Eşik değerin belirlenmesi yapılacak çalışmanın önemine ve ekip üyelerinin bu konuda görüşlerine bağlı olarak belirlenir. Ekip, ürünün pazardaki imajı ve konumu, ürünün kullanım yerinin kritikliği, hataların bulunup ortadan kaldırılabilme olasılıkları gibi etkenleri göz önünde bulundurarak RÖS değerini belirler.

Günümüzde birçok firma tarafından RÖS' ün sınır değeri 125 olarak kabul edilmektedir. RÖS değeri 125' den büyük olduğunda olası hata için önlem tedbirleri alınır. Önem  $\leq 8$  ve Olasılık  $> 3$  ya da Önem  $\geq 9$  ve Olasılık  $> 2$  olduğu durumlarda RÖS değerine bakılmaksızın olası hatalar için önlem alma çalışmalarına başlanmalıdır. Buradaki sınır değerler müşteri tarafından belirlenebileceği gibi, firmanın kendi kalite ve hedefleri doğrultusunda da belirlenebilir.

Belirlenen eşik değerin üzerinde kalan RÖS değerleri için düzeltici önlemler alınması gerekir. Bu önlemlerin tespit edilip uygulanmasından sonra yeni RÖS değerleri hesaplanır. Yapılan iyileştirmeler sonucunda yeni RÖS değerlerinin ilk değerden küçük olması gerekir. Yeni değerin eski değerden küçük olması alınan önlemlerin yapıcı olduğunu gösterir.

HATA TÜRÜ ve ETKİLERİ ANALİZ FORMU												
Ürün:		Proje No:										
Çalışma Tarihi:		Ürünün Planlanan Üretim Tarihi:		Hazırlayan:		Ekip:						
		Onay:										
Hata Türü	Etkiler	Sebepler	Mevcut Kontrol	Mevcut Durum			Öneriler	Sonuç			Sorumlu	
				Olasılık	Şiddet	Keşf.		RÖG	Yapılan Olasılık	Şiddet		Keşf.

Şekil 2.5: Örnek FMEA Formu (Eryürek Ö.F., Tanyaş M, 2003).

### 2.3. TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi)

Artan rekabet ortamı ile birlikte firmalar birbirlerinin önüne geçebilmek ve pazardaki paylarını artırabilmek için kendilerini geliştirmek zorundadırlar. Bu gelişimi sağlamak için araştırma ve geliştirmeye önem vermek, ürün ve süreçlerde geliştirmeler yapmak ve çalışanları bu gelişim sürecine dahil etmeleri gerekmektedir. İşte TRIZ, bu gelişime ve ortaya çıkan problemlerin çözümüne yardımcı olan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemin temeli problemlerin çözümünde ortaya çıkan çelişkilerin ortadan kaldırılmasına dayanmaktadır. Altshuller yapmış olduğu patent incelemeleri sonucunda, birbirleri ile en sık çelişen 39 adet mühendislik değişkenini belirlemiş ve bu değişkenler arasındaki çelişkilerin 40 adet yaratıcı/yenilikçi prensip ile giderilebileceğini göstermeye çalışmıştır (Altshuller, G., 2007). Altshuller' in geliştirdiği yaklaşım problemlerin çözümünü arayan kişilerin çok zaman harcamadan daha önce çözümü bir yerlerde olan problemlerinin çözümüne rehberlik etmektedir.

Araştırmacıların problemlerin çözümlerini ararken en çok yaptıkları, problemin çözümünü sadece kendi uzmanlık alanında aramalarıdır. TRIZ yaptığı yol gösterme ile mühendislerin ve problemle karşılaşan kişilerin çözüme daha sistematik bir yolla ulaşmasını sağlamaktadır. Altshuller çözülmeye çalışılan sorunun çözümünün daha önce bir benzeri çözümünün yapıldığını öne sürmüştür. Böylece kişi aradığı problemin çözümünü kendi uzmanlık alanında bulabileceği gibi başka bir uzmanlık alanında da bulabilir.

#### 2.3.1. TRIZ nedir?

TRIZ, 1946 yılında Sovyetler Birliği'nde Genrich Saulovich Altshuller tarafından problemlere yenilikçi ve yaratıcı çözümler üretmek için geliştirilmiş bir metottur. TRIZ kelimesi bu yöntemin Rusça'daki "Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch" baş harflerinden gelmektedir (Altshuller, G., 2007). İngilizce'ye "Theory of Inventive Problem Solving" olarak çevrilen metodun Türkçe'deki karşılığı "Yaratıcı Problem Çözme Teorisi" olarak geçmektedir. Bu yöntemin diğer yaratıcı yöntemlerden daha fazla ilgi görmesinin nedenlerden biri sistematik yolla yaratıcılığı desteklemesidir. Altshuller binlerce patenti incelemiş (yaklaşık 200000) ve problemlerin nasıl

özüleceğini belirlemeye çalışmıştır. Altshuller incelediği bu patenlerden yaklaşık 40000 tanesinin yeni çözümler olduğunu, diğerlerinin ise daha çok iyileştirme olduğunu görmüştür. Bir başka deyişle yıllarca yapılan bir çok gelişme/yenilik temelde aynı sorunların iyileştirilmesiyle ve geliştirilmesiyle oluşmuştur.

TRIZ, çelişkilerin ortadan kaldırılarak, yaratıcı özümmler üretmek ve bu çözümlere sistematik yollarla ulaşılmasını amaçlar. TRIZ' in teorisi üç temelden oluşur (Terninko ve ark. 1998):

- İdeal dizayn (sistem) amaçtır.
- Çelişkiler problemleri çözmeye yardım eder.
- Yenilikçi süreç sistematik olarak yapılandırılabilir.

TRIZ problemlerin çözümüne sistematik yollarla ulaşmaktadır. Problem ile karşılaşmış araştırmacılara ve mühendislere sonuca çabuk ve sistematik bir şekilde nasıl ulaşabileceklerini göstermeye çalışır. Genelde kişiler bir sorun ile karşı karşıya geldiklerinde problemin çözümünü deneme yanılma yoluyla bulmaya çalışırlar. Kişinin problemin çözümünü kendi deneyim ve uzmanlık alanında olacağını düşünmesi ve problemine çözüm bulmak için diğer disiplin ve teknolojilere yönelmemesi "psikolojik ataletsizlik" olarak adlandırılmaktadır. Bu da çözümün bulunma zamanını arttırmakta ve bazen problemlerin çözümünü yanıtız bırakmaktadır. TRIZ bu noktada araştırmacılara yol göstermekte problemlerin çözümünde farklı disiplinlerden de faydalanmalarını sağlamaktadır.

### 2.3.2. Yaratıcılık seviyeleri

Altshuller yukarıda da bahsettiğimiz gibi binlerce patenti incelemiştir. Yaptığı bu incelemelerde teknik sistemlerin hep aynı evrim aşamalarından geçtiğini fark etmiştir. Buradan yola çıkarak geliştirilen çözümleri 5 seviyeye ayırmıştır.

**Seviye 1:** Kişisel bilgilerle çözümleri kolaylıkla bulunabilen problemler bu sınıfı oluşturur. Çözümlerin yaklaşık %32 si bu sınıfa girmektedir.

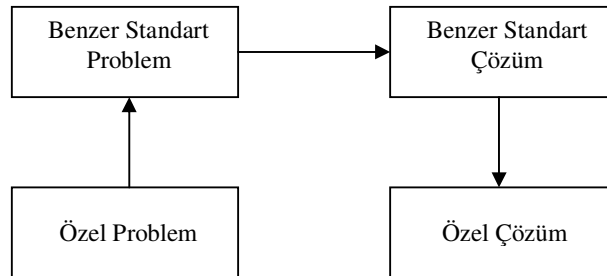
**Seviye 2:** Mevcut sistem üzerinde yapılan küçük değişiklikler bu sınıfı oluşturur. Yaklaşık % 45.

**Seviye 3:** %18 lik kısmı oluşturmaktadır. Aranılan sorunun yer aldığı alandaki bilgiler kullanılarak sorun çözülür.

**Seviye 4:** Burada çözümü aranan sorunu çözmek için sorunun ait olduğu disiplin dışındaki alanlardan yararlanılır. Çözümüne teknolojinin yanına bilim de dahil edilir. %4 lük kısmı oluşturur.

**Seviye 5:** Tamamen yeni buluşların olduğu kısımdır. %1 lik dilimi oluşturur.

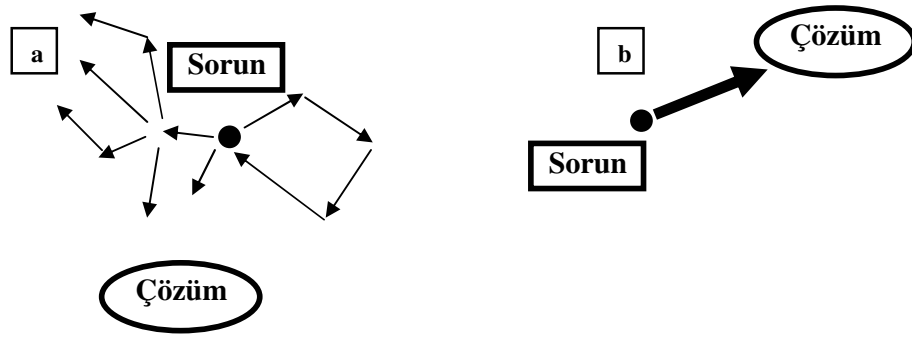
Buradan da görüldüğü gibi yapılan çalışmaların ancak %1 lik kısmı yeni bir buluştur. Diğer kısımlar daha çok iyileştirme ve geliştirme çalışmalarıdır. Bu da karşılaşılan problemlerin mevcut çözümünün daha önce yapıldığını ya da bir yerlerde olduğunu göstermektedir. İşte TRIZ problemlerde yer alan çelişkileri ortan kaldırarak yeni çözümler bulmayı amaçlayan bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Böylece TRIZ' in sorun çözme metodu *Şekil 2.6* deki gibi gösterilebilir.



Şekil 2.6: TRIZ Sorun Çözme Metodu (<http://www.mazur.net/triz>, 2008)

### 2.3.3. TRIZ' in yapısı ve çözüm araçları

TRIZ diğer yöntemlerin aksine daha sistematik bir yol izliyor. İlk bakışta TRIZ ile problem çözme Beyin Fırtınası ile problem çözmeye benzeyebilir. Fakat Beyin Fırtınası yönteminde çözüme daha psikolojik bir yaklaşım ile ulaşılırken, TRIZ metodunda çözüme daha sistematik yollarla ulaşıyor (Şekil 2.7). Böylece deneme yanılma yöntemiyle harcanan zaman azalmış ve çözüme daha kısa yoldan ulaşılmış oluruz.



Şekil 2.7: a) Deneme Yanılma b) TRIZ ile Çözüm Arama

TRIZ ile çözüme ulaşmada bazı yollar ve araçlar kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları; “İdeal Sonuç”, “Teknik Sistemlerin Evrimi”, “Çelişkiler ve Çelişkiler Matrisi”, “ARIZ (Yaratıcı Problem Çözme Algoritması - Algorithm to Solve an Inventive Problem)”, “Kaynaklar”, ve “Madde Alan Analizi” ve “Standart Çözümler” olarak sayılabilir.

### 2.3.4. İdeal çözüm

Günümüzde firmaların gelişimlerini sürdürebilmek ve satışlarını artırabilmek için müşterilerinin ihtiyaçlarına doğru ve eksiksiz cevap vermeleri gerekmektedir. Bu istekleri ne kadar yüksek seviyede gerçekleştirebilirlerse mükemmelliğe o kadar yaklaşmış olurlar. Müşterilerin tüm isteklerini sıfır maliyet ve sıfır zararlı etki ile gerçekleştiren sistem “mükemmel sistem” yani “ideal çözüm” dür. Bu istekler sağlandığında ideal çözüme ulaşılmış olur. Bunu gerçekleştirmesi için de kaynaklardan azami oranda faydalanmak gerekir. Bu kaynaklar enerji, malzeme, hava, sıcaklık ve yer çekimi gibi sistemin kendisinde veya çevresinde kolayca bulunabilecek şeylerdir. Eğer

bu kaynaklar kullanılabilir hale getirilirse mükemmelliğe ulaşmak için ortadan kaldırılması gereken olumsuzluklar da kendiliğinden de ortadan kaybolabilecektir. Sistemi mükemmelliğe ulaştırmak için maliyetini düşürmek, daha az yer kaplamasını sağlamak, enerji kullanımını azaltmak vb. etkileri gerçekleştirmemiz gerekmektedir. Mükemmellik (1) deki ifade edilir:

$$Mükemmellik = \frac{\sum Y_i}{\sum Z_j} \quad (1)$$

*Y<sub>i</sub>: Sistemin Yararlı Etkilerinin Toplamı, Z<sub>j</sub>: Sistemin Zararlı Etkilerinin Toplamı*

Yukarıdaki mükemmellik ifadesinden de görüldüğü gibi ideal durumda zararlı etkiler sıfırlanacak ve sadece faydaların olduğu bir durum oluşacaktır. Bu durum çelişkileri meydana getirir. Çünkü yararlı etkiyi arttırırken zararlı etki de artar. Buradaki amaç bu çelişkileri ortadan kaldırmak ya da zararlı etkileri minimuma indirip sistemin yararlı etkilerini arttırmayı sağlamaktır. Böylece ideal sisteme biraz daha yakınlaşmış oluruz. Bu durumda ideal sistemin tanımı şu şekilde yapılabilir: “Mekanizmanın olmadığı fakat mekanizmanın yerine getirmesi gereken fonksiyonun var olduğu sistemdir” (Revelle ve ark. 1998).

### **2.3.5. Teknik sistemlerin evrimi**

İlerideki bölümlerde daha detaylı olarak ele alınacak olan çelişkiler matrisinin temeli teknik sistemlerde doğan çelişkilerden yararlanmıştır. Peki nedir teknik sistem? Bir işlevi veya görevi yerine getiren her şey teknik sistem olarak verilebilir. Araba, uçak, iş makinesi gibi karmaşık sistemlerden tutun da kalem, gözlük gibi günlük hayatımızda karşımıza çıkan nesnelere teknik sistemlere örnek olarak verilebilir. Bir teknik sistem birkaç alt sistemden ya da birkaç teknik sistem birleşerek bir üst teknik sistemi oluşturur. “Fren teknik sistemi otomobilin alt sistemidir aynı zamanda fren balata sisteminin bir üst sistemidir” (Kapucu ve ark. 2001).

<b>Teknik Sistem</b>	<b>Teknik Sistemin Alt Sistemleri</b>
Ulaşım	Otomobil, Yollar, Haritalar, Sürücüler, Servis İstasyonları
Otomobil	Güç aktarımı, Frenler, Isıtma, Direksiyon, Elektrik Aksamı
Frenler	Fren Pedalı, Hidrolik Silindir, Akışkan, Fren Balata Sistemi
Fren Balata Sistemi	Balata Bağlantı Parçası, Perçinler
Balata	A Parçacıkları, B Parçacıkları, Kimyasal Bağlar
Kimyasal Bağ	A Molekülleri, B Molekülleri

Şekil 2.8: Taşıma Sisteminde Alt ve Üst Sistemler (Kapucu ve ark. 2001)

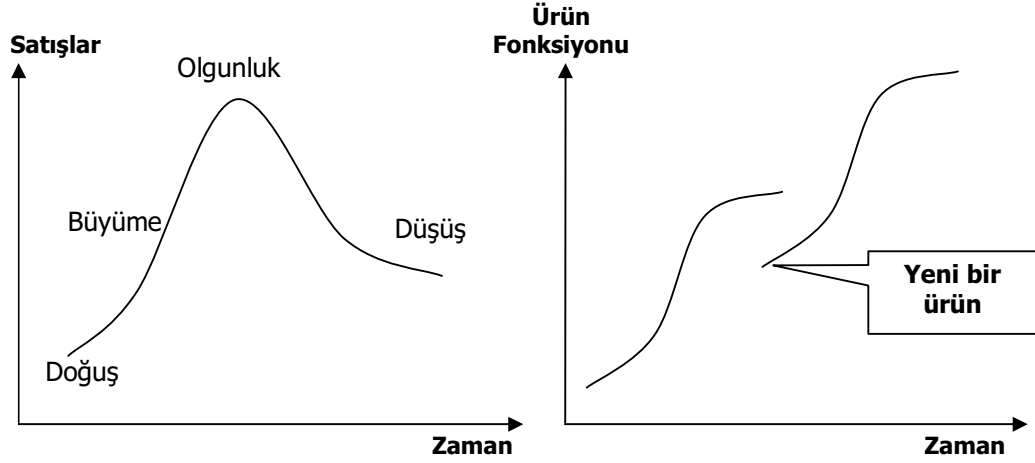
Bir teknik sistemde olumsuzluk ya da zararlı etkiler ortaya çıktığı zaman mükemmelliğe ulaşmak için bu olumsuzlukların ortadan kaldırılması gerekir. Olumsuzlukların ortadan kaldırılmasında çelişkiler matrisinden faydalanılır. Bir teknik sistem en temel öğelerine kadar inilerek basitleştirilir ve çözümler üretilerek olumsuzlukların önüne geçilmeye çalışılır. Alt sistem, üst sistem içerisinde olduğu için burada yapılacak olan iyileştirmeler dolayısıyla sistemin tümüne etki edecektir. Şekil 2.8 de bir teknik sistemin alt ve üst elemanları daha iyi görülmektedir.

Yapılan araştırma-geliştirme ve iyileştirme çalışmalarında en önemli konulardan biri günümüz teknolojisini değerlendirerek, gelecekteki olası teknolojik gelişmeleri tahmin edip bu yönde çalışmalar yapılmasıdır. Teknik sistemlerin evrimi, teknolojinin seyri hakkında fikir sahibi olmamızı sağlar.

“Teknik sistemlerin evrim teorisi, belli bir ihtiyaca cevap veren bir teknolojinin tarihsel gelişiminin S eğrileri şeklinde geliştiğini, her teknolojinin gelişme, olgunlaşma ve duraksama dönemi olduğunu söyler“(Karataylı 2008).



Şekil-2.9 den görüldüğü gibi ürüne duyulan ihtiyaç neticesinde yeni bir ürünün doğuşu olur. Ürünün kullanımında ve pazar payında artış neticesinde büyüme gerçekleşir. Olgunluk aşaması büyümenin gelebildiği son noktadır. Bu aşamadan sonra düşüşe geçilir. Ürünün geliştirilmesi ya da pazarda önceki ürünün yerini alacak yeni bir ürünün üretilmesi gereklidir.



Şekil 2.9: Teknik Sistemlerin Evrimi ([www.kalder.org/genel/TRIZ\\_SPAC-Bildiri.ppt](http://www.kalder.org/genel/TRIZ_SPAC-Bildiri.ppt))

Teknik sistemlerin evrimi sayesinde mevcut bir ürünün/teknolojinin bir sonraki aşamalarının ne olduğunu tahmin etmek, gelecekteki olası gelişmeler hakkında fikir sahibi olunabilir. Mevcut ürünler/teknoloji ya da süreç nasıl sistematik olarak geliştirebileceğimiz konusunda daha doğru kararlar alabiliriz.

Tablo 2.6: Teknolojik Sistemlerin Evrim Kalıpları (Kapucu 2003, <http://www.mazur.net/triz/index.html> , 2008)

Kalıp	Örnek
1 Teknolojinin bir ömrü vardır; doğar, büyür, gelişir ve ölür.	<p>1. Safha Bir sistem henüz mevcut değildir, ancak gerekliliği için önemli ip uçları oluşmaya başlamıştır.</p> <p>2. Safha Yüksek seviyede yeni bir buluş olarak ortaya çıkmıştır, fakat gelişimi yavaştır.</p> <p>3. Safha Toplu yeni sistemin değerini kavrar.</p> <p>4. Safha Orijinal sistem gelişimi için kaynakların sona ermesi.</p> <p>5. Safha Orijinal sistemin yerine geçecek yeni jenerasyon sistemin ortaya çıkması.</p> <p>6. Safha Orijinal sistemin bazı kısıtlı yararlılıkları yeni sistemde de kullanılmaktadır.</p> <p>1. Uçmak için ilk çabalar ve başarısızlık (Kanatla).</p> <p>2. Wright kardeşlerin uçaklarıyla saatte 30 mil hızla uçmaları.</p> <p>3. I. Dünya savaşında uçakların kullanılması. Hızlarının saatte 100 mile çıkması.</p> <p>4. Ağaç ve iplerden oluşan gövdenin aerodinamik hız limitine erişmesi.</p> <p>5. Tek metal gövdenin imal edilmesi.</p> <p>6. Bazı yeni uçakların geliştirilmesi.</p>
2 Mükemmelliğin Arttırılması.	1946 da yapılan ENIAC bilgisayarını birkaç ton ağırlığında, bir oda büyüklüğünde, basit fonksiyonların hesaplanmasında kullanılmaktaydı. Günümüzde, bilgisayarlar birkaç kilo ve masa üstü yayıncılık, matematik fonksiyonlarının hesaplanması, haberleşme, grafik, video, ses vb özelliklere sahip.
3 Çelişkiler sonucu alt sistemlerin orantısız gelişimi.	Alt sistemler tüm sistemden farklı yaşam döngüsüne sahiptirler. Basit alt sistemler tüm sistemin gelişimini engeller. Yapılan ortak hata yanlış alt sistemin iyileştirilmesine odaklanmaktır. Eski uçakların kötü aerodinamiğini iyileştirmek yerine araştırmacıların uçak motorunun gücünü arttırmaya yönelmeleri gibi.
4 Dinamikliğin ve kontrol edilebilirliğin artırılması	Eski otomobillerin hızı motorun hızı ile kontrol edilmekteydi. Daha sonra vites kutusuyla daha sonra otomatik vites ve bunu da devamlı değişken aktarım ile hız kontrolü izlemiştir.
5 Karmaşıklığın basit sistemlerin bir araya getirilerek artırılması.	Bir gövdeye radyo, çift hoparlör, kaset çalıcı, CD çalıcı vb. eklenerek stereo müzik sistemlerinin geliştirilmesi.
6 Parçaların uyumu veya uyuşturulmaması	<p>1. Eski otomobillerde titreşimi sönmek için yaprak yaylar kullanıldı. Bu yaylar at arabalarından alınmış ilgisiz veya uyuşmayan parçalardan oluşmaktaydı.</p> <p>2. Daha sonra ayarlı parçalarla ince ayarlamalara imkan sağlanmasıyla uygun bir sistem oluşturulmuştur Şok emiciler (Amortisör)</p> <p>3. Amaca yönelik olarak uyuşmayan parçaların farklarını kullanarak ek bir fonksiyon elde edilmesi. Bunun bir örneği bimetalik yay verilebilir Bir elektrik akımı verildiğinde yaylanma oranının değişmesi gibi.</p> <p>4. Otomatik olarak parçaların isteğe göre uyuşturulması veya uyuşturulmaması. Örneğin: bilgisayar kontrollü aktif amortisör sistemi.</p>
7 Makro sistemden mikro sisteme enerji alanlarının daha iyi kullanılarak performans veya kontrol için geçişi.	Yiyecek pişirme sisteminin odundan yakan fırından gaza, gazdan elektriğe, elektrikten de mikro dalga fırınlara dönüştürülmesi.
8 Otomasyonun artırılmasıyla insan katkısının azaltılması	Elbise yıkamanın gelişimi; çamaşır tahtasından merdaneli makineye merdaneli makineden otomatik çamaşır makinesine otomatik çamaşır makinesinden tam otomatik çamaşır makinesine yönelme.

“Altshuller, yüz binlerce patent üzerinde yaptığı çalışması sonucunda zamanla teknolojik sistemlerin nasıl değiştiğine örnek olarak alınabilecek 8 kalıp ve bu kalıpların alt eğilimlerini belirlemiştir. Bu kalıplar ve eğilimler insanların ne düşündüklerinden çok nasıl düşündüklerine dayandırılmıştır” (Kapucu 2003). Altshuller’ in belirlediği 8 kalıp ve örnekleri bir önceki sayfada *Tablo 2.6* da gösterilmiştir.

Sistemlerin gelişimi metodu yapacağımız geliştirmelerde bizlere yol göstermektedir. *Şekil 2.8* de gösterildiği gibi her sistem bir alt sistemi ve bir üst sistemi vardır. Bu özellik sistemin alt sistemlerinde yapılacak bir geliştirmenin sistemin tümüne yansıtacağını göstermektedir. Özellikle karışık yapıli sistemlerde geliştirme yapılacağında sistemler arasındaki ilişkilere dikkat edilmeli ve meydana gelebilecek çelişkiler ortadan kaldırılarak çalışmalar yapılmalıdır.

Altshuller (2007) sistemin gelişiminin 4 aşamada gerçekleştiğini ve her bir aşamanın kendine özgü problemleri ve çözüm yöntemleri olduğunu söylemiştir.

*1- Sistemi Oluşturacak Parçaların Seçimi:* Bu aşamada sistem ve sistemin alt sistemleri ile ilgili sorulara çözüm yolları aranır. Sistemin nasıl çalıştığı, alt parçaların sistem içinde nasıl konumlandırılması gerekliliği, kullanılacak parçaların nasıl tasarlanması gerektiği gibi sorular sorularak parçaların seçimi yapılır.

*2- Parçaların Geliştirilmesi:* sistemin alt parçaları geliştirilerek, parçalar arasındaki ilişkilerin ideal noktaya getirilmesi için farklı tasarımlar ve çözüm yolları düşünülür.

*3- Sistemin Daha Dinamik Hale Getirilmesi:* Sistemin alt parçalarının gelişen zaman ile dinamik hale gelmesidir. Örneğin uçak iniş takımlarının açılıp kapanabilmesi ve kanatlarını otomatik olarak kumanda edilmesi gibi.

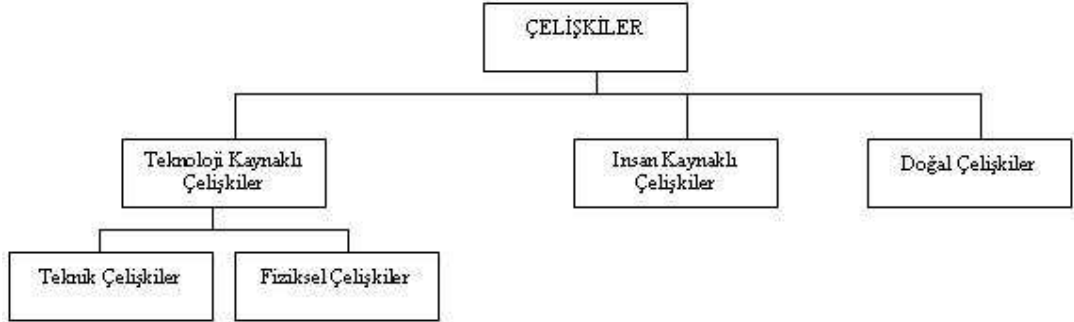
*4- Sistemin Kendini Geliştirmesi:* Bu aşama henüz tam olarak ortaya çıkmış değildir. Fakat bu aşamaya geçiş için çeşitli gelişmeler yaşanmıştır. Roket ve uzay sistemleri gibi.

### 2.3.6. Çelişkiler

Çelişkiler sistemde meydana gelen zıtlıkları ya da karşıtlıkları ifade eder. TRIZ de amaç çelişkilerin giderilerek probleme çözüm bulunmasıdır. Böylece var olan bir çelişki giderildiğinde ardışık diğer çelişkiler de çözülerek problemin çözümüne ulaşılır. Çelişkilere örnek olarak bir nesnenin aynı anda hem sıcak hem soğuk olması, bir ürünün sağlamlığını artırmak için kalınlığın artırılması bu nedenle ağırlığının artması verilebilir. Altshuller' e göre çelişki: "Bir sistemin bir parametresinin iyileştirilmesi için yapılan bir girişimin, bir diğer sistem parametresinin değerini düşürmesidir" (Royzen 1997).

Çelişkileri (Şekil 2.10) Altshuller üç tipe ayırmıştır:

- Teknoloji kaynaklı çelişkiler
- İnsan kaynaklı çelişkiler
- Doğal çelişkiler



Şekil 2.10: Çelişki Türleri

### 2.3.6.1. Teknoloji kaynaklı çelişkiler

**Teknik Çelişkiler:** Sistemin iki alt sistemi arasında meydana gelen çelişkileri ifade eder. Bir aktivite aynı anda hem yararlı hem de zararlı ise bu durumda teknik çelişkilerden söz edilir.

Bu durumda yararlı etkiyi arttırmak zararlı etkiyi arttırıyorsa ya da zararlı etkinin azaltılması sistemde veya sistemin parçalarında yararlı etkiyi azaltıyorsa çelişkiler meydana gelir. Çözüm yaratılabilmesi için teknik çelişkilerin ortadan kaldırılması gerekmektedir.

**Fiziksel Çelişkiler:** Teknik çelişkiler bir çok durumda fiziksel çelişkiler ile ilişkilidir. Fiziksel çelişkiler teknik sistemde meydana gelen fiziksel tutarsızlıkları belirtmektedir. Örneğin aynı anda bir nesnenin hem sıcak hem soğuk ya da hem hareketli hem durağan olması gerekliliği gibi.

### 2.3.6.2. İnsan kaynaklı çelişkiler

İnsan kaynaklı çelişkiler, teknik çelişkiler gibi üzerinde denemeler yapılmış ve çözüm yolları aranmış bir çelişki türü değildir. İnsan temelli çelişkiler genelde psikolojik ya da insanın doğasından kaynaklanır. Çünkü bazen kişi bulunduğu konum itibarıyla, kişisel isteği ya da risk almama gibi nedenlerle bazen yaratıcılığını sınırlar. Bu da bulabileceği bir çözümün önünü tıkar.

### 2.3.6.3. Doğal çelişkiler

Bu çelişki türü ise adından da anlaşılacağı gibi meydana gelen çelişkilerin sisteme dışarıdan etki ettiği doğa yasaları tarafından meydana getirilen kısıtlamalardır.

Bu tür çelişkileri bugünkü bilgi sınırimızın bir kısmı ile kavrayabiliyoruz ve belki gelecekte çözümü söz konusu olabilir.

TRIZ' in temeli meydana gelen bu çelişkilerin ortadan kaldırılmasına dayanır. Bu çelişkileri çözerken kaynaklar etkili kullanılmalıdır.

### 2.3.7. Çelişkiler matrisi

Çelişkiler Matrisi çözüme ulaşmada en sık kullanılan Triz çözüm araçlarından biridir. Çünkü bu yöntemin temelini çelişkiler ve bu çelişkilerin ortadan kaldırılıp çözümlenmesi oluşturmaktadır. Çelişki bir sistemde bir parametre üzerinde iyileştirme yaparken diğer bir parametrenin kötüye gitmesi sonucunda ortaya çıkar. Bir arabanın dayanımını artırmak için saç kalınlığını artırmanın arabanın hızına olumsuz yönde etki etmesi gibi. Altshuller incelediği patentler sonucunda 39 adet en sık çelişen mühendislik değişkeni/teknik çelişki belirlemiştir. Bu değişen mühendislik parametreleri *Tablo 2.7* de görülmektedir.

Tablo 2.7: Mühendislik Değişkenleri (Terninko ve ark. 1998)

1. Hareketli Nesnenin Ağırlığı	21. Güç
2. Sabit Nesnenin Ağırlığı	22. Enerji Kaybı
3. Hareketli Nesnenin Uzunluğu	23. Madde Kaybı
4. Sabit Nesnenin Uzunluğu	24. Bilgi Kaybı
5. Hareketli Nesnenin Alanı	25. Zaman Kaybı
6. Sabit Nesnenin Alanı	26. Madde Miktarı
7. Hareketli Nesnenin Hacmi	27. Güvenilirlik
8. Sabit Nesnenin Hacmi	28. Ölçüm Doğruluğu
9. Hız	29. Üretim Doğruluğu
10. Kuvvet	30. Nesneye Etki Eden Zararlı Faktörler
11. Gerilim/Basınç	31. Zararlı Yan Etkiler
12. Şekil	32. Üretilbilirlik
13. Nesnenin Yapısal Kararlılığı	33. Kullanım Kolaylığı
14. Mukavemet	34. Tamir Edilebilirlik
15. Hareketli Nesnenin Dayanımı	35. Adapte Edilebilirlik
16. Sabit Nesnenin Dayanımı	36. Aletin Karmaşıklığı
17. Sıcaklık	37. Kontrol Karmaşıklığı
18. Parlaklık	38. Otomasyon Seviyesi
19. Hareketli Nesnenin Harcadığı Enerji	39. Verimlilik
20. Sabit Nesnenin Harcadığı Enerji	

Altshuller bu 39 mühendislik parametresini 39\*39 boyutlarında bir matrise taşımıştır. Yatay ve dikey yönde yerleştirilen bu parametreler sağdan sola gidildikçe iyileşen özellikleri, yukarıdan aşağıya gidildikçe ise kötüleşen özellikleri

göstermektedir. Oluşan matris alanına ise geliştirdiği 40 yenilikçi/yaratıcı prensipleri yerleştirmiş ve böylece “Çelişkiler Matrisi” adı verilen matrisi oluşturmuştur. Çelişkiler Matrisi’ nin tamamına **EK-1’** den ulaşılabilir. 40 yenilikçi/yaratıcı prensip *Tablo 2.8* de gösterilmiştir.

Tablo 2.8: Yaratıcı Prensipler (Terninko ve ark. 1998)

1. Bölümleme	21. Acele Etme
2. Ayırma	22. Zararı Faydaya Çevirme
3. Lokal Kalite	23. Geri Besleme
4. Asimetri	24. Aracı Kullanmak
5. Kaynaştırma/Birleştirme	25. Self Servis
6. Evrensellik	26. Kopyalama
7. Birbirinin İçine Girebilme	27. Ucuz Kısa Ömürlü Nesnelere
8. Karşı Ağırlık	28. Mekanik Sistemin Yerine Koyma
9. Başlangıçta Hareketsizlik (Eylemsizlik)	29. Pnömatik veya Hidrolik Yapılar Kullanma
10. Başlangıçta Eylemli	30. Esnek Kabukların/İnce Filmlerin Kullanılması
11. Önceden Güvenilirliği Sağlama	31. Gözenekli Malzeme
12. Eşit Potansiyel	32. Renk Değiştirme
13. Ters Eylem	33. Homojenlik
14. Küresellik-Bükümlülük	34. Atma ve Yeniden Ele Alma
15. Dinamik	35. Fiziksel veya Kimyasal Durum Değişikliği
16. Kısmi veya Aşırı Eylem	36. Hal Geçişleri
17. Diğer Boyut	37. Isıl Genleşme
18. Mekanik Titreşim	38. Kuvvetli Oksitlendiriciler
19. Periyodik Hareket	39. Durağan Çevre
20. Yararlı Hareketin Devamlılığı	40. Kompozit Malzemeler

Araştırmacılar veya problem çözücüler kendi problemlerini TRIZ’ deki sorunlara benzeterek ortadan elde ettikleri çözüm yollarından uygun olanları kendi problemlerine uygulayarak kendi teknik sistemlerinde karşılaştıkları sorunları daha sistematik ve kolay bir şekilde çözmüş olurlar.

Çelişkiler matrisinde yer alan kutucuklarda çözüm önerileri yer almaktadır. Araştırmacı buradaki çözüm önerilerini kendi problemine uygulamaya çalışır.

### 2.3.7.1. Temel 40 yaratıcı prensibin açıklanması

Yaratıcı/Yenilikçi Prensipleri tek tek ne anlamlara geldiklerini açıklamaya çalışırsak;

#### 1. Bölümleme

- Nesnenin bağımsız parçalara ayrılması
- Nesnenin kolay parçalanabilir ya da takılabilir hale getirilmesi
- Parçalanma ya da sökülebilmeye derecesinin yükseltilmesi

#### 2. Ayırma

- Nesnede problem çıkaran parçaların ayrılması
- Sadece gerekli olan kısımların bırakılması

#### 3. Lokal Kalite

- Nesnenin yapısının tek biçimli halden çok biçimli hale dönüşmesi
- Nesnenin her bir kısmının uygun çalışma koşullarına göre sağlanması
- Nesnenin her bir kısmının farklı yararlı bir fonksiyon olmasının sağlanması

#### 4. Asimetri

- Nesnenin formunun simetrik halden asimetric hale dönüştürülmesi
- Nesne asimetric ise derecesinin artırılması

#### 5. Kaynaştırma/Birleştirme

- Özdeş ya da benzer nesnelerin yan yana getirilmesi (birleştirilmesi)
- Nesneleri veya operasyonları bitişik veya paralel hale getirilmesi-zamanla birleştirilmesi

#### 6. Evrensellik

- Bir nesnenin birden fazla fonksiyonu yerine getirmesinin sağlanması, diğer kısımlara duyulan ihtiyacın ortadan kaldırılması

#### 7. Birbirinin İçine Girebilme

- Bir nesnenin bir başka nesnenin içine yerleştirilmesi
- Bir nesnenin bir parçasının diğer bir parçanın içine yerleştirilmesi

#### 8. Karşı Ağırlık

- Nesnenin ağırlığını karşılayabilmek için o nesnenin ağırlığını karşılayabilecek başka nesnelerle birleştirilmesi



- Nesnenin çevreden yararlanmasını artırabilmek için ağırlığı başka parçalarla birleştirmek

#### 9. Başlangıçta Hareketsizlik (Eylemsizlik)

- Bir nesne hem zararlı hem de yararlı etkilere sahipse zarara yol açmayacak etkilerin seçilmesi
- İleride oluşabilecek olumsuz sonuçların önlenmesi için nesne kullanılması

#### 10. Başlangıçta Eylemli

- Nesnede ileride ihtiyaç olabilecek değişikliklerin önceden gerçekleştirilmesi
- Nesnelerin gereken zamanda kullanıma alınması için uygun yerde zaman kaybetmeyecek şekilde bulunması gereken uygun yerlerin önceden ayarlanması

#### 11. Önceden Güvenilirliği Sağlama

- Düşük güvenilirlikteki sistem ve nesnelere için önceden önlem alınması

#### 12. Eşit Potansiyel

- Potansiyel bir alandaki zararlı gerilimleri azaltacak ya da yok edecek koşulların sağlanması

#### 13. Ters Eylem

- Problemin çözülmesi için tersten gidilmesi
- Hareketli parçaların sabitlenmesi, sabit parçaların hareketli hale getirilmesi
- Sürecin, nesnenin veya bir sistemin ters düz edilmesi (baş aşağı çevrilmesi)

#### 14. Küresellik-Bükümlülük

- Düz nesnelere yerine küresel nesnelerin kullanılması
- Kürsele ve kubbe şekillerinin kullanılması
- Düz hareketler yerine dönel hareketlerin kullanılması, santrifüj (merkezkaç) kuvvetinden faydalanılması

#### 15. Dinamik

- Nesne, dış çevre veya süreç karakteristiğinin tasarlanırken en optimal biçime gelecek ya da optimal biçimi bulacak şekilde tasarlanması
- Nesnenin birbirleri ile bağlı hareket edecek parçalara ayrılması
- Nesne ya da süreç sert veya kararlı bir özelliğe sahipse, hareketli ya da adapte edilebilir hale getirilmesi

### 16. Kısmi veya Aşırı Eylem

- Bir problemin ya da sürecin çözümü verilen yöntemle %100 sağlanmıyorsa, aynı yöntemin biraz daha azı ya da biraz daha fazlası kullanılarak problemin daha kolay çözülebilir hale getirilmesi

### 17. Diğer Boyut

- Nesnenin iki ya da üç boyutlu uzayda konumunun değiştirilmesi
- Tek katlı yerine birçok katlı sistemin tasarlanması ve kullanılması
- Nesnenin yönünün değiştirilerek bir kenarı üzerine konumlandırılması, yan yatırılması
- Verilen bir alanın başka yüzlerinin kullanılması

### 18. Mekanik Titreşim

- Nesnenin salınmasının ya da titreştirilmesinin sağlanması
- Frekansının artırılması
- Nesnenin titreşim frekansının kullanılması
- Mekanik titreşimler yerine piezo titreşimlerin kullanılması
- Elektromanyetik alan ile ultrasonik titreşimlerin kullanılması

### 19. Periyodik Hareket

- Sürekli aynı hareket yerine periyodik hareketlerin kullanılması
- Hareket periyodikse periyodunun ya da frekansının değiştirilmesi.
- Hareketler arasına duraklar (belli zaman aralıkları) konarak değişik bir hareketin gerçekleştirilmesinin sağlanması

### 20. Yararlı Hareketin Devamlılığı

- Nesnenin parçalarının tam kapasite olarak sürekli çalışmasının sağlanması
- Tüm gereksiz veya süresiz hareketlerin elenmesi

### 21. Acele Etme

- Bir sürecin ya da sürece ait aşamaların tehlikeli veya zararlı aşamalarının hızlı bir biçimde gerçekleştirilmesi

### 22. Zararı Faydaya Çevirme

- Yararlı bir iş yapmak için zararlı faktörlerin kullanılması
- Zararlı bir etkinin başka bir etkiye eklenerek giderilmesi
- Zararlı bir faktörün zararlı olamayınca dek etkisinin artırılması

### 23. Geri Besleme

- Bir sürecin veya eylemin geliştirilmesi için geri beslemenin kullanılması
- Geri beslemenin kullanılıyor olması halinde etkisinin veya büyüklüğünün artırılması

### 24. Aracı Kullanmak

- Aracı bir nesne ya da sürecin kullanılması
- Bir nesnenin geçici olarak diğeriyle birleştirilmesi

### 25. Self Servis

- Nesnenin kendi kendisine yetecek şekilde kullanılmasının sağlanması
- Atık enerji, kaynak veya maddelerin kullanılması

### 26. Kopyalama

- Pahalı ve zor bulunan nesnelerin yerine kopyalarının kullanılması
- Nesnenin ya da sürecin optik kopyasıyla değiştirilmesi
- Optik kopyalar kullanılıyor ise kızılötesi ve ultraviyole kopyaların kullanılması

### 27. Ucuz Kısa Ömürlü Nesnelere

- Pahalı olan nesnelere ucuz ve aynı kalitede olanları ile değiştirilmesi

### 28. Mekanik Sistemin Yerine Koyma

- Mekanik sistemler yerine duymusal (görüntü, akustik, tat, koku) sistemler kullanılması
- Cisimlerle etkileşmek için elektrik, manyetik ve elektromanyetik alanlar kullanılması
- Statik sistemler yerine hareketli sistemlere geçilmesi
- Manyetik dalgaları manyetik dalgalardan etkilenen partiküllerle kullanmak

### 29. Pnömatik veya Hidrolik Yapılar Kullanma

- Cisimlerde katı parçacıkların akışkan (gaz ve sıvı) nesnelere ile yer değiştirilmesi

### 30. Esnek Kabukların/İnce Filmlerin Kullanılması

- Üç boyutlu yapılar yerine esnek ince tabaka veya zarların kullanılması
- Esnek ince tabaka ve zarların kullanılarak nesnelere dış etkilere karşı korunması

### 31. Gözenekli Malzeme

- Gözenekli nesnelere kullanmak ya da nesnelere gözenekli maddeler eklenmesi

- Eğer nesne gözenekli ise bu gözeneklerin kullanılabilirliğinin önlenmesi, ya da gözeneklerin doldurulması

### 32. Renk Değişirme

- Nesnenin renginin ya da dış çevresinin değiştirilmesi
- Bir nesnenin ya da çevresinin geçirgenliğinin (saydamlığının) artırılması
- Zor görülen nesne ya da proseslerin görülebilmesi için renkli katkı maddelerinin ilave edilmesi
- Eğer renkli katkı maddeleri kullanılıyorsa, nesnenin ışık yayma gücünün kullanılması

### 33. Homojenlik

- Birbirleri ile etkileşim halinde olan nesnelerin aynı maddeden ( ya da aynı özelliklere sahip) olmasının sağlanması.

### 34. Atma ve Yeniden Ele Alma

- Bir nesnenin fonksiyonlarının tamamlamış olan kısımlarının uzaklaştırılması (çözerek, buharlaştırarak vb.)
- Sistemin veya nesnenin tüketilen parçalarının işlem sırasında sürece geri katılmasının sağlanması

### 35. Fiziksel veya Kimyasal Durum Değişikliği

- Nesnenin fiziksel durumunun değiştirilmesi (katı, sıvı, gaz)
- Konsantrasyonun veya yoğunluğun değiştirilmesi
- Nesnenin esnekliğinin değiştirilmesi
- Nesnenin sıcaklık, basınç gibi diğer parametrelerinin değiştirilmesi

### 36. Hal Geçişleri

- Hal değişimleri sırasında ortaya çıkan değişikliklerin kullanılması (hacim değişimleri, sıcaklık kayıpları vs.)

### 37. Isıl Genleşme

- Maddelerin ısıl genleşme özelliklerinin kullanılması
- Eğer ısıl genleşme kullanılıyorsa genleşme katsayıları farklı olan maddelerin beraber kullanılması

### 38. Kuvvetli Oksitlendiriciler

- Normal bir atmosferin oksijen ile zenginleştirilmiş atmosfer ile değiştirilmesi
- Zenginleştirilmiş havanın saf oksijen ile değiştirilmesi

- Havayı ya da oksijeni iyonize radyasyon etkisine maruz bırakmak ve iyonize edilmiş oksijen kullanmak
- İyonize edilmiş oksijen yerine ozon kullanılması

#### 39. Durağan Çevre

- Normal atmosferin (çevrenin) eylemsiz olanı ile değiştirilmesi
- Bir nesneye nötr kısımlar ya da hareketsiz alanlar eklenmesi

#### 40. Kompozit Malzemeler

- Tek çeşit malzeme yerine belirli özelliklere cevap verebilecek kompozit malzemelerin kullanılması

### 2.3.8. ARIZ (Yaratıcı Problem Çözme Algoritması)

ARIZ, TRIZ' in probleme çözüme kullanılan araçlarından biridir. Karmaşık problemlerin çözümünde kolaylık sağlar. İlk kez 1968 yılında geliştirilen ARIZ daha sonra takip eden 20 yıl içinde değişikliklere uğramış ve günümüzde kullanılan son halini almıştır. Son versiyonu ARIZ 85-C, 1985 yılında yayınlanmış ve dokuz adımda çözüm aşamaları anlatılmıştır.

#### *Adım 1: Problemin Analizi*

Problemin çözümüne başlamadan önce problem ile ilgili analizin yapıldığı problem çözüme başlangıç aşamasıdır. Bu aşamada mevcut olan sorunlar ve çelişkiler kapsamlı olarak tespit ve analiz edilir. Problemin çözümü için model oluşturulur.

#### *Adım 2: Problem Modelinin Analizi*

Problemin analitik bir modeli oluşturulur. Bu model oluşturmada TRIZ' in parametrelerinden faydalanılır.

#### *Adım 3: İdeal Çözümün Formülasyonu*

İdeal çözüm, problemde var olan çelişkilerin hangileri hakkında neler yapılması gerektiği konusunda bilgi verir. Teknik çelişkilerin yanında fiziksel çelişkiler hakkında da bilgi sahibi olunması sağlanıyor. Böylece problem modeli ile oluşturulan çözüm

modeli karşılaştırıldığında neler yapılması gerektiği netleşiyor ve başlangıçta belirsiz olan bir problem özel bir probleme dönüşmüş oluyor.

Çoğu zaman problemler 3. adımın sonunda çözümlenir. Bu durumda 7, 8 ve 9. adımlara geçilebilir veya problemin çözümü için diğer adımlardan çözüme ulaşmak için sunulmuş öneriler takip edilebilir.

*Adım 4: Madde ve Alan Kaynaklarından Yararlanma*

Bu aşamada amaçlanan çözüme yol gösterecek bilimsel kaynaklar taranıyor. Problemin daha iyi anlaşılması için diğer buluşlardan faydalanılmış oluyor.

*Adım 5: Bilgi Bankasının Kullanımı*

Elde edilen bilgilerin problem çözümünde nasıl kullanılacağı bu bölümde belirleniyor.

*Adım 6: Problemin Yeniden Formülasyonu veya Değiştirilmesi*

Eğer problemde bir çözüm elde edilmemişse model yeniden formüle ediliyor ya da değiştiriliyor. Bu değişim çözüm sağlanamazsa bir çok defa tekrarlanabilir.

Takip eden adımlara geçebilmek için problem için bir çözümün bulunmuş olması gerekmektedir. Eğer henüz bir çözüm yolu bulunmamışsa önce adımlar tekrar edilir. Eğer bir çözüm bulunmuşsa aşağıdaki adımlara geçilir.

*Adım 7: Çelişkilerin Giderilmesi İçin Analiz Yapılması*

Bu adımda çözümün kalitesi (orijinalliği) araştırılıyor. “Çelişkiler tamamen ortadan kaldırıldı mı?” sorusuna cevap aranıyor.

*Adım 8: Çözümün Uygulanması*

Bulunan çözüm probleme uygulanıyor.

### *Adım 9: Çözüme Ulaştıran Adımların Analizi*

Adımlar analiz edilip ileriki dönemlerde oluşabilecek problemler için bilgi toplanması sağlanıyor. Böylece oluşabilecek benzer problemler de daha az zaman harcayıp çözüme ulaşmak hedefleniyor.

### **2.3.9. Kaynaklar**

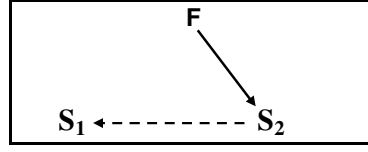
TRIZ ile çözüm bulunurken kaynaklardan yararlanılır. Kaynaklar sistemin içinde ya da çevresinde bulunan malzeme, bilgi, enerji vb. şeylerdir. Potansiyeli olup kullanılmayan kaynakları kullanılabilir hale getirip problemin çözümüne katkıda bulunuruz. Kaynakların kullanımı problemin çözümünü tetikler. Bu nedenle kaynakların bulunup etkili bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

### **2.3.10. Madde alan analizi ve 76 standart çözüm**

Madde-alan analizi (Su-Field Analysis/S-alan analizi) TRIZ çözüm araçlarından biridir. Madde alan analizi ile fonksiyonel başarısızlıkların tanımlaması ya da belirlenmesi sağlanır.

“Madde-alan analizi TRIZ’ in mevcut teknik sistemlerle ilgili problemlerinin modellenmesinde kullanılan analitik bir araç ve simgesel bir gösterim dilidir” (Parlakoğlu 2004). Madde alan analizi ile teknik sistemlerde yapılacak iyileştirmelerdeki değişikliklerin belirlenmesi sağlanır.

Madde alan analizi ile teknik sistemin yapısal modeli ve karakteristikleri ortaya çıkarılarak problemin modellenmesi sağlanır. Yapılan düzenlemelere göre model oluşturulur ve problemin yapısal çözümü ortaya çıkarılır.



Şekil 2.11: Madde alan analizi ile çözüme ulaşma

Madde alan analizi yöntemiyle çözüme ulaşırken arada başka bir madde ( $S_2$ ) kullanarak ana maddemize ( $S_1$ ) ulaşmaya çalışırız (Şekil 2.11). Madde alan analizini başka bir deyişle açıklamaya kalkarsak; eğer  $F$  alanının  $S_1$  alanı üzerinde direkt olarak etkisi yok ise bu durumda  $S_2$  alanı kullanılarak,  $S_1$  alanına etki yapmaya çalışırız.

Altshuller madde alan analizini Altshuller (2007) de örnek bir problem ile açıklamaya çalışmıştır. Tarım makineleri üreten bir firma ürettiği ürünleri test etmek için küçük bir alana sahiptir. Fabrikaya çok sayıda birbirinden farklı toprak üzerinde çalışacak ürün siparişi geldiğinde, firma ürettiği ürünleri test etmek için yeterli alana sahip değildir. Ürünlerini test edebilmek için yaklaşık 140 farklı toprağa ihtiyaçları vardır. Bunun için çeşitli fikirler üretilir. Tarlayı 140 parçaya bölmek (fakat tarla yeteri kadar büyük değildir), ürünleri istenilen yerlere denemek için göndermek (fakat birden fazla deneme gerektiğinde maliyetli olmaktadır), toprağı sirklerde yapıldığı gibi değiştirmek (140 adet hareketli tarla), toprağı dondurduktan sonra buzunu çözmek (çok yavaş ve pahalı) ve farklı türlerde topraklar getirmek (çok yavaş ve pahalı) gibi fikirler çözüm için ortaya atılmıştır. Bu problem istediğimiz toprağı üretilen her ürün tipine uygun bir konuma getirmek, bir başka deyişle etki yapmak istediğimiz madde topraktır. Bu probleme madde alan analizi ile çözüme ulaşmaya kalkarsak, toprağı demir tozu karıştırılarak manyetik bir alan yaratılır ve toprağın özellikleri kolayca kontrol altına alınabilir.

Yukarıdaki problemde  $S_1$  üzerinde etki yapmaya çalıştığımız madde,  $S_2$   $F$  kuvvetine iyi yanıt veren ve  $S_1$ ' e etki etmemize yardımcı olacak madde,  $F$  ise manyetik alan kuvvetini belirtmektedir. Bu sayede demir tozu ( $S_2$ ) ile manyetik bir alan oluşturup ( $F$ ) toprağın ( $S_1$ ) özelliklerini ürün özelliklerine göre istediğimiz şekilde değiştirip ürünleri test edebiliriz.



“76 standart çözüm 1975-1985 tarihleri arasında G.S.Altshuller ve diğer TRIZ uzmanları tarafından derlenen TRIZ standart çözümleri madde-alan analizi yöntemiyle önceden modeli belirlenen özgün tipte bir problemin çözümünde sıkça kullanılan çözümlere erişmemizi sağlayan bir bilgi-tabanı aracı ve yöntemidir” (Parlakoğlu 2004). 76 Standart çözüm, teknik sistemlerin formüle edilmesine yardımcı olur. Bu sayede problemlerin sentezi kolaylaşır ve çözümlere daha rahat ulaşmamızı sağlar.

## 2.4. Montaj Süreci

Bir veya birden fazlanın parçanın, önceden belirlenmiş bir sıraya uygun olarak birbiri içinde veya aralarında çeşitli yöntemlerle bağlanmaları veya yer değiştirmeleriyle bir bütün oluşturmaları montaj sürecini oluşturur. Montaj işleminin gerçekleştiği üretim hatlarına da “montaj hattı” denir. Montaj operasyonu el ile gerçekleştirilebileceği gibi otomasyon sistemlerin yardımı ile de gerçekleştirilebilir.

“Montajlar çoklu parçaların çeşitli yöntemler kullanılarak bir arada tutulmalarını içermektedir. Bu yöntemler; vidalar, perçinler, pimler, cıvatalar, telli zımbalar, yaylı klipsler ve diğer tarzda parçada bir arada tutma fonksiyonunu yerine getirebilecek tipte bağlama elemanlarıdır. Bu elemanlar parçaları sıkma kuvveti uygulayarak veya kendi aralarında kilitleyerek bir arada tutma işlevini yerine getirirler” (Parlakoğlu 2004).

Montaj operasyonu ile üretilmiş ürünler günlük hayatımızın her anında karşımıza çıkmaktadır. Çevremize baktığımızda gördüğümüz birçok ürün montaj operasyonunun sonucudur. Yazı yazmakta kullandığımız mekanik kalemler, cep telefonları, otomobiller vs. birbirinden ayrı parçaların montaj operasyonu ile birbirine bağlanması sonucu bir araya gelmiştir.

İyi bir montaj operasyonunun gerçekleşmesi için montajdan önce gelen tasarım ve imalat gibi süreçlerin doğru ve tam olarak tamamlanmış olması gereklidir. Tasarımı tamamlanıp imal edilen montaj parçalarının bağlantı noktalarının iyi işlenmiş olması, tolerans değerlerinin doğru hesaplanıp istenen değerler arasında olması montaj işlemini kolaylaştıracağı gibi doğru ve tam bir montaj işleminin gerçekleşmesini sağlayacaktır. Montaj işlemi insan tarafından gerçekleştiriliyorsa, montaj kabiliyetleri ve yeteneği gelişmiş kalifiye kişilerin, montaj süresini azaltacağı ve istenen doğrulukta montaj yapma olasılığını artıracakları açıktır. Eğer montaj otomasyon ile gerçekleştirilecek ise montaj ekipmanlarının gerekli hassasiyette ayarlanmış olması istenen doğrulukta montajın gerçekleşmesi için önem taşımaktadır.

Montaj işlemi günümüzde el ile ya da makine/otomasyon sistemler ile gerçekleştirilmektedir. Montaj operasyonunun el ile ya da makineler vasıtasıyla

gerçekleştirilmesi konusunda doğru kararlar alınmalıdır. Her iki durumun avantaj ve dezavantajları gözden geçirilip, tasarlanacak montaj hattı alınan karara göre tasarlanmalıdır. Operatör montaj işlemini gerçekleştirirken yanlış pozisyonlanmış montaj parçasını doğru pozisyona getirip, montajı doğru gerçekleştirebilir. Fakat benzer hata makine ile yakalandığında hat durabilir ve hattın durması maliyet kaybına yol açabilir. Bunun yanında makine ile yapılan montajlarda montajın aynı kalitede olacağı el ile montaja göre avantajdır. Makine/otomasyon ile gerçekleştirilen montajda, montaj süresi sabittir. Fakat el ile gerçekleşen montajda süre, operatörün kabiliyetine bağlıdır. Bu nedenle makine/otomasyon ile gerçekleşen montaj işlemlerinde çevrim sürelerini almak ve hattın verimliliğini hesaplamak daha kolaydır.

“Eğer operatörlü montaj hattı değerlendirilecek ise gereksiz olan operatörlerin tespit edilmesi gerekmektedir. Eğer işçilik giderleri çok fazla ise, otomatik göz önüne alınmalıdır. Otomasyon derecesi ise, montaj maliyetine ve otomatik montaj hattının sağlamış olduğu üretim oranına bağlı olmaktadır. Ancak makinelere yapılacak yatırımın kendinin amorti edebilmesi için ürünün pazarda kalacağı süre hesaplanmalıdır. Eğer işçilik az ise makineler yerine operatörün çalışması daha aza maliyetli olmaktadır” (Parlakoğlu 2004).

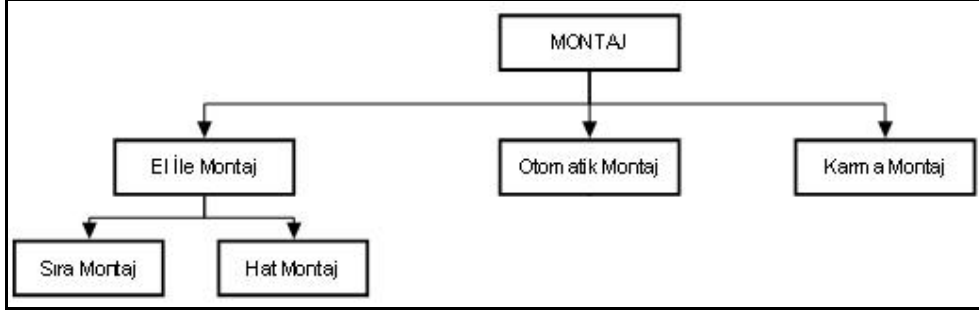
#### **2.4.1. Montaj ve montaj hattı çeşitleri**

Montaj işlemi temelde “el ile montaj” ve “otomatik montaj” olmak üzere ikiye ayrılır. İnsanlar tarafından gerçekleştirilen montaj işlemine *el ile montaj*, makineler/meکانizmalar tarafından gerçekleştirilen montaja *otomatik montaj* denir.

Elle montaj, sıra ve hat montajı olarak iki kısma ayrılabilir. Sıra montajda bir kişi tüm montajdan sorumlu olarak montaj işlemini gerçekleştirir. Hat montajında, operatör montajın belli kısmından sorumludur. Kendi sorumluluğunda bulunan kısmın montajını gerçekleştirdikten sonra diğer kısımların montajını başka bir operatör gerçekleştirir.

Kullanılan teknolojiye bağlı olarak bazı montaj ekipmanları otomatik olabilmekte fakat montaj işlemi el ile yapılabilmektedir. Örneğin; bir parçanın montaj hattında civatalarının sıkılması ya da montaj parçalarının taşınması otomasyon sistemler

sayesinde olabilmekte ve diğer montaj işlemleri el ile yapılabilmektedir. Bu tip montaja da “hibrit (karma) montaj” adı verilebilir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Montaj Çeşitleri

Montaj hatları üretilen ürün çeşidine göre tek modelli, çok modelli ve karışık modelli hatlar olmak üzere üçe ayrılır:

Kesintürk ve Küçük (2006) üretilen ürün çeşidine göre montaj hat tanımlarını şu şekilde yapmıştır: “Tek model” montaj hatları, tek bir model veya ürünün üretimine ayrılmış özel hatlar iken, “Çok modelli” hatlarda farklı ürünlerin ya da aynı ürünün iki veya daha çok benzer tipinin, farklı miktarlarda ve farklı zamanlarda üretilmesi söz konusudur. Karışık modelli montaj hattı ise, iki veya daha fazla benzer ürünün veya bir ürünün değişik modellerinin aynı anda ve karışık olarak üretildiği montaj hattıdır.

Montaj hatlarının tasarımı ise “Düz hat tasarımı” ve “U tipi hat tasarımı” olmak üzere genelde iki tiptir.

“Toyota” nın JIT (Just in Time: Tam Zamanında Üretim) prensiplerinin uygulanabilmesi için üretim hattını “U” tipinde organize etmesiyle yeni bir hat tasarımı ortaya çıkmıştır. Geleneksel hatlardan farklı olarak U-tipi montaj hatlarında yerleşim U şeklinde olup, hattın giriş ve çıkışı aynı pozisyonda bulunmaktadır” (Ağpak ve ark. 2002).

U tipi montaj hatlarında çalışan operatörler birden çok makinede işlem yapabilecek çoklu yeteneğe sahip olabilmektedirler. U tipi montaj hatlarında işin yoğunluğuna göre çalışan sayısı artırılabilir ya da azaltılabilir.

“Operatör makinelerden birisine gittiği zaman, eğer parçanın işlemi devam ediyorsa, işlemin bitmesini beklemekte, daha sonra parçayı bir sonraki makineye göndermektedir. Yeni parçayı boşalan makineye yerleştirmekte, operasyonu başlatmakta ve sonraki makineye gitmektedir“(Ağpak ve ark. 2002).

Düz hat montajında, montaj parçaları her ayrı montaj istasyonunda operatör tarafından montajlanmakta ve bir sonraki montaj istasyonuna geçmektedir. U tip montaj hatlarında çalışan sayısının kullanımı düz hat montaj tasarımına göre daha esnek yapıdadır.

#### **2.4.2. DFA (Montaj İçin Tasarım)**

Montaj işlemindeki kayıpları azaltmak, montaj operasyonunu hızlandırıp, montaj süresini minimize ederek, montaj maliyetlerini düşürmek için çeşitli optimizasyon metotları geliştirilmiştir. Kullanılan metotlardan birisi de “*Montaj İçin Tasarım (DFA: Design for Assembly)*” dir.

“Montaj İçin Tasarım metodolojisi; ürünün montaj maliyetini en aza indirmek için ürünün sistematik bir şekilde analiz edilerek ürün dizaynının basitleştirilmesidir. Bu basitleştirme işlemi:

- a) Ürün tasarımındaki parça sayısını azaltmak,
  - b) Geri kalan parçaların kolaylıkla montaj edilebilir olmasını sağlamak ile sağlanır”.
- (Mezhopoglu 1995).

Montaj için tasarım yöntemi ile montajdaki parça sayısı azaltılmakta ve montaj parçalarının daha kolay birbirine bağlanması hedeflenmektedir. Montaj parçalarının azaltılması ve kolay montaj operasyonunun sağlanması, montaj zamanını azaltacağı gibi maliyeti de düşürecektir. Meydana gelen problemlerin montaj esnasında aşılması maliyetli olacağından, problemlerin tasarım aşamasındayken çözülmesi hedeflenmektedir.

Montaj için tasarım uygulamaları genelde iki şekilde olmaktadır (Mezhopoğlu 1995):

- 1- İmalatçı kuruluşun, imal etmekte olduğu bir ürünün yeniden tasarımında veya
- 2- Tasarım safhasında olan bir ürünün alternatif tasarımlara göre değerlendirilmesinde uygulanabilir.

Montaj işleminden etkin verim alınması için montaj operasyonunun en aza sürede tamamlanması gerekir. Montaj parçalarının doğru ve kaliteli, birbirlerine montajının yapılabilmesi için gereksiz montaj adımları çıkartılmalı, tasarım aşamasında kolay montaj ve montajın en aza parça ile gerçekleşmesi için tasarım yapılmalıdır.

DFA ile parça sayısı azalacak, tasarım ile imalat aşamalarında daha az parça için işlem yapılacaktır. Tasarım ve imalat süreçlerindeki parça sayısının azaltılması sonucu daha az envanter takibi, dokümanlarda azalma, malzeme akışında kolaylık gibi sonuçlar elde edilecektir. Daha az montaj parçası ile işlem yapılacağından kalıp, tutucu aparatlar ve ekipmanların maliyetlerinde de azalma olacaktır.

Büyüközkan (2005), DFA 'nın hedeflediği avantajları şu şekilde sıralamıştır:

- Belli montaj operasyonlarını eleyerek ya da basitleştirerek montaj maliyetlerini azaltmak
- Tasarımı oluşturacak parça sayısını indirmek için yönlendirici olmak
- Montaj otomasyonunu sağlamak ya da robotik montaj teknikleri içinde uygun olanları değerlendirmek için tasarım kuramları geliştirmek
- Montaj rahatlığını, basit idare ve taşımayı sağlamak
- Tertibat ve parça, tasarım farklılığı, montaj hareketleri, montaj yönergelerinin sayısını indirmek
- Otomatik hat dengeleme sağlamak
- Görülebilir tıkanmayı, eşzamanlı tertibat operasyonlarını, montaj hataları olasılıklarını engellemek
- Modüler elemanların birleşmesiyle farklı ürün üretimini düzenlemek

DFA metodu, montajı kolaylaştıran ve hızlandıran bir yöntemdir. Montaj problemlerinin tasarım aşamasındayken özölmesini hedeflemesi, montaj anında oluşan/oluşabilecek kayıpların önüne geçmektedir.

## 2.5. Uygulamalar

Yapılan bu çalışmada 3 adet uygulamaya yer verilmiştir. İlk iki uygulama ile TRIZ yönteminin tasarım ve imalat süreçlerinde karşılaşılabilecek problemlere uygulanabilirliği ve optimum çözümün bulunmasına katkı sağlayacağı gösterilmiştir. Son uygulamada Montaj-FMEA çalışmasının problemlere çözüm bulma aşamasına TRIZ' in entegrasyonuna çalışılmıştır. Çözüm bulma aşamasında problemlere sistematik yaklaşımın sürece etkileri uygulamaların sonuçları ile verilmiştir.

### 2.5.1. Uygulama-1

Talaşlı imalat ile üretim yapan bir firmada montaj test hattında yapılmış olan uygulama ele alınmıştır.

#### 2.5.1.1. Üretim sürecindeki sorunlar

Üretim yapan firmaların en büyük problemlerinden biri, üretimi durdurmadan çıkan sorunlara çözüm üretmek ve hatasız ürünleri müşterilerine ulaştırmaktır. Firmalar tasarım ve üretim aşamalarında birçok sorunla karşılaşmaktadır. Çalışanlardan istenen, hataların minimum seviyede tutulması ve eldeki kaynakları en verimli şekilde kullanıp çözüme ulaştırmaktır. Aşağıda üretim süreçlerinde karşılaşılan başlıca sorunlar verilmiştir:

- Üretim zamanının optimum kullanılmaması
- Üretim maliyetlerinin minimumda tutulmaması
- Üretim teknolojisinin yeterli olmaması
- Hammadde kaynaklı hatalar (döküm boşluğu, vuruks, çizik, malzemede yırtılma vb.)
- Kalite problemleri
- Malzeme kalitesinin yetersiz olması
- Üretimi gerçekleştiren makinelerdeki/tezgahlardaki duraksamalar ve parça işlemede kullanılan takım problemleri



- Üretim sürecini hızlandırmak için üretim sisteminde yapılan iyileştirmelerin yetersiz olması

Üretim süreçlerinde karşılaşılabilecek problemlerden bazılarıdır. Ortaya çıkan problemlere klasik deneme-yanılma metoduyla çözüm aramak zaman ve maliyet kaybına neden olmaktadır. Çıkabilecek sorunlara yaratıcı çözümler bulmak ve çözümü düşük maliyet ile gerçekleştirmek gerekmektedir.

#### **2.5.1.2. Problemin tanımlanması**

Çalışmanın yapıldığı hatta firmanın ürettiği ürünlerin montaj kontrolleri yapılmaktadır. Kontrol işleminde ürün hidrolik fonksiyon testinden geçirilmektedir. Kontrol, kare şeklindeki tablaların üzerinde yapılmaktadır. Problemin çıkış noktası, tablaları tekrar kullanmak için montaj kontrol hattının başına taşınmasıdır. İlk başlarda taşıma işlemi elle gerçekleştirilmiştir. Fakat her tablada hattın başına gidilmesi oldukça fazla zaman kaybına neden olmaktadır. Ayrıca taşımadaki çalışan güvenliği, parçanın zarar görme ihtimali ve tablaların elde taşınması yağların yere akmasına, kirliliğe ve maliyet kaybına neden olmaktadır. İkinci çözüm olarak tablalar altışarlı gruplar halinde bir el arabası yardımıyla taşınmışlardır. Fakat yağların tablolardan iyice süzülmesi beklenmediğinden, kullanılan yağların kaybına ve çalışanın belli aralıklarla tablaları taşınması nedeniyle maliyet ve zaman kaybına neden olmaktadır.

#### **2.5.1.3. Çözüm yollarının aranması**

Bu tip bir problem için hidrolik ya da pnömatik geri dönüşüm sistemi tasarlamak probleme çözüm olabilirdi. Fakat bu oldukça maliyetli bir projeydi ve bu tip bir sistemin gerektirdiği kadar seri montaj kontrolü yapılmamaktaydı.

Problemin çözümü için TRIZ yöntemine başvuruldu ve TRIZ yöntemi ile probleme eldeki şartlar doğrultusunda optimum çözüm bulundu.

#### 2.5.1.4. TRIZ' in probleme uygulanması

Problemimizin çözümü için tasarlanacak sistemin, tablaların hattın başına taşınması işlemine hız kazandırması ve geçerli olan yöntemle göre zaman kaybını düşürmesi, kullanımının kolay ve karmaşık olmaması gerekir. Bu özelliklerin yanı sıra stabil olması ve yağ vb. zararlı faktörlerden etkilenmeyecek şekilde bir sistemin tasarlanması gereklidir. Tasarlanacak sistem için belirtilen özelliklerden faydalanarak problemin çözümüne ulaşmak için ilgili olabilecek mühendislik parametreleri belirlenmiştir. Bunlar;

- 9- Hız
- 13- Nesnenin Yapısal Kararlılığı
- 25- Zaman Kaybı
- 30- Nesneye Etki Eden Zararlı Faktörler
- 33- Kullanım Kolaylığı
- 36- Aletin Karmaşıklığı

Daha sonra mühendislik parametreleri çelişkiler matrisine taşınarak aralarındaki ilişkilere bakıldı. Aşağıdaki *Tablo 2.9* da ilgili mühendislik parametrelerinin aralarındaki ilişkileri görebiliriz:

Tablo 2.9: İlgili Mühendislik Parametreleri ve Çelişkiler Matrisi

ÇELİŞKİLER MATRİSİ	9- Hız	13- Nesnenin Yapısal Kararlılığı	33-Kullanım Kolaylığı	36-Aletin Karmaşıklığı
9- Hız	-	28,33,1,18	32,28,13,12	10,28,4,34
13- Nesnenin Yapısal Kararlılığı	33,15,28,18	-	32,35,30	2,35,22,26
25- Zaman Kaybı	-	35,3,22,5	4,28,10,34	6,29
30- Nesneye Etki Eden Zararlı Faktörler	21,22,35,28	35,24,30,18	2,25,28,39	22,19,29,40

Çelişkiler matrisinden yararlanarak probleme çözüm aranmaya çalışıldı. Çelişkiler matrisinin yorumlanmasında olabilecek çelişkiler için önerilen yaratıcı prensiplere bakılır. Yaratıcı prensiplerin yorumlanması ve olası çözümler kişiden kişiye değişiklik gösterebilir. Problemimiz için Çelişkiler Matrisi yorumlandığında özellikle aşağıdaki

yaratıcı çözümler nasıl bir sistem tasarlanması ve yapılması gerektiği hakkında büyük katkı sağlamıştır.

- 13- Ters Eylem
- 15- Dinamik
- 24- Aracı Kullanmak
- 25- Self Servis

Çözüme yardımcı olan prensiplerin ne anlama geldiklerini detaylı bir şekilde inceleyelim:

#### *13- Ters eylem*

- Problemin çözülmesi için tersten gidilmesi
- Hareketli parçaların sabitlenmesi, sabit parçaların hareketli hale getirilmesi
- Sürecin, nesnenin veya bir sistemin ters düz edilmesi (baş aşağı çevrilmesi)

#### *15- Dinamik*

- Nesne, dış çevre veya süreç karakteristiğinin tasarlanırken en optimal biçime gelecek ya da optimal biçimi bulacak şekilde tasarlanması
- Nesnenin birbirleri ile bağlı hareket edecek parçalara ayrılması
- Nesne ya da süreç sert veya kararlı bir özelliğe sahipse, hareketli ya da adapte edilebilir hale getirilmesi

#### *24- Aracı Kullanmak*

- Aracı bir nesne ya da sürecin kullanılması
- Bir nesnenin geçici olarak diğeriyle birleştirilmesi

#### *25- Self Servis*

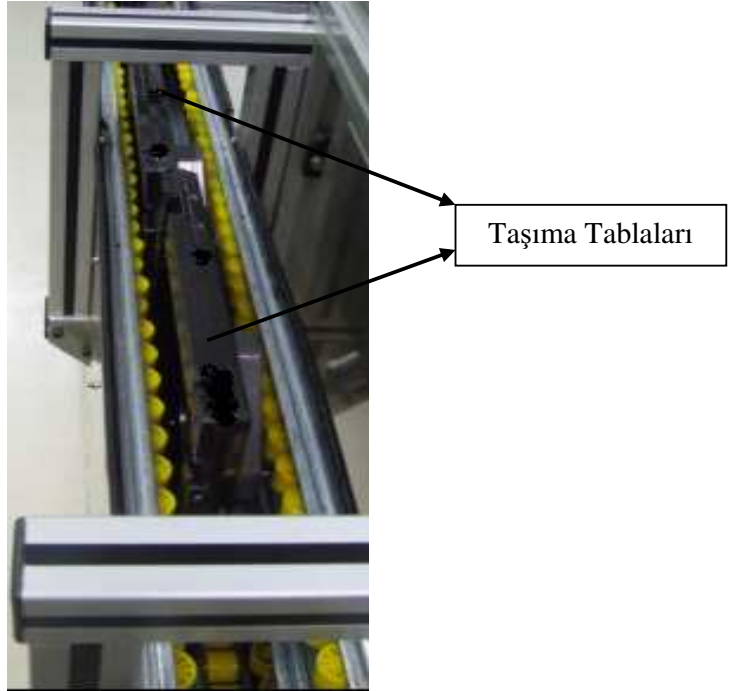
- Nesnenin kendi kendisine yetecek şekilde kullanılmasının sağlanması
- Atık enerji, kaynak veya maddelerin kullanılması

Problemin çözümüne yardımcı olan *13-Ters Eylem*, *15-Dinamik*, *24-Aracı Kullanmak* ve *25-Self Servis* prensipleri incelendiğinde prensiplerin bize gösterdikleri ortak nokta; ara bir sistem tasarlanması ve bu sistemin tablaların taşınma işlemini kendiliğinden yapması gerekliliğidir. Prensiplerin yorumlanmasıyla birlikte *24- Aracı Kullanmak* prensibi ile taşıma işleminin ara servisle gerçekleşeceğine ve *25-Self Servis* prensibi ile taşıma işleminin kontrolünün kişiye bağlı olmadan kendiliğinden gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Taşınma işleminin bireye bırakılmadan kendiliğinden gerçekleşebilmesi için tasarlanacak sistemin nasıl olacağı hakkında *13-Ters Eylem* ve *15- Dinamik* prensiplerinden yararlanılabilir. Belirtilen prensipler incelendiğinde, sistemde hareketli parçaların kullanılabilmesi görülebilir. *13-Ters Eylem* ve *15-Dinamik* ile tasarlanacak sistemde, tablaların üzerinde hareket edeceği zeminde kendi eksenini etrafında dönen tekerlekler kullanılmış ve bu tekerlekler tablaların taşınmasının gerçekleşeceği sisteme sabitlenerek sisteme kararlı bir yapı kazandırılmıştır.

Çelişkiler matrisinin yanında, önceki bölümlerde bahsettiğimiz gibi TRIZ yöntemi ile sonuca ulaşmak için kaynaklardan en yüksek seviyede yararlanmamız gerekmektedir. Örnek uygulamamızda mükemmel mutlak çözüm alt tablaların dışarıdan kontrolün minimum düzeyde tutulup kendiliğinden montaj kontrol hattının başına gidebilmesidir. Bu çözüme ulaşmak için ise kullanabileceğimiz kaynaklardan başlıcaları; yer çekimi, ivme ve hız gibi faktörlerdir. Yer çekimi kaynağından alt tablaların geri dönüşümü için tasarlanan hat  $2,5^\circ$  eğimli yapılarak maksimum seviyede faydalanılmaya çalışılmış, tablalar sabit bir zeminde değil ardı ardına sıralanmış tekerleklerin olduğu bir zemin üzerinde hareket ettirilmiştir.

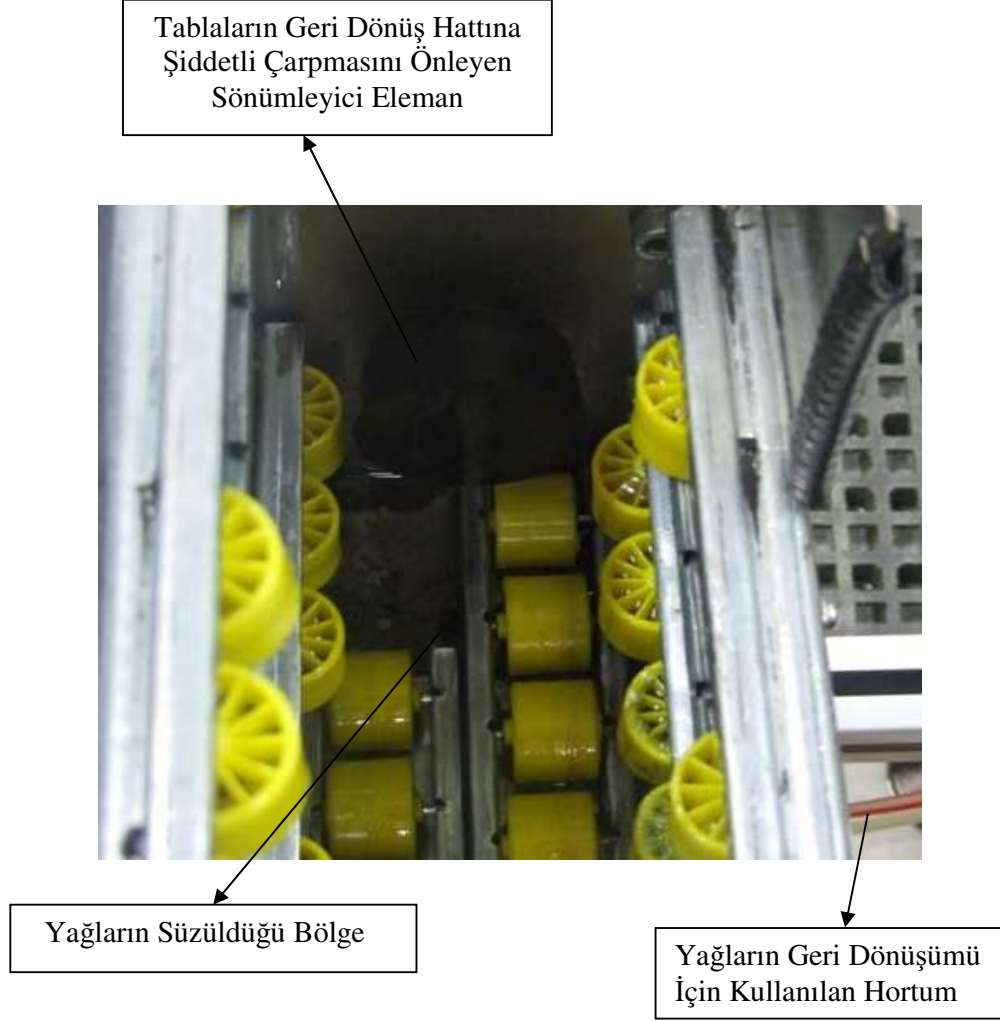


Şekil 2.13: Geri Dönüşüm Hattından Bir Görüntü



Şekil 2.14: Geri Dönüş Hattından Taşıma Tablaları İle Beraber Bir Görüntü

TRIZ' in yaratıcı prensiplerinden yararlanarak tablaların hattın başına taşınması *Şekil-2.13* de gösterilen, tekerlekli bir sistem tasarlanarak, dönen tekerlekler ile sağlanmıştır.

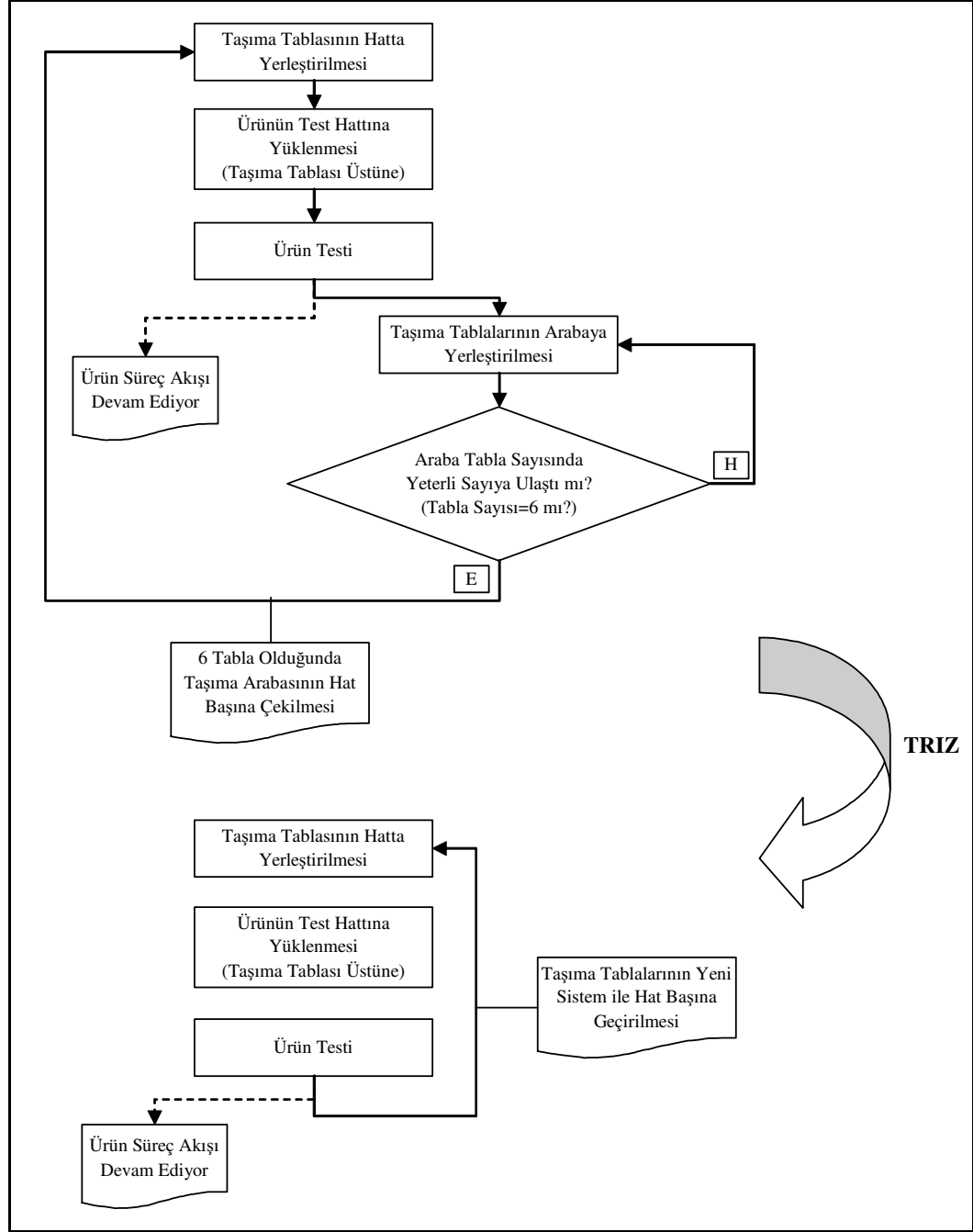


Şekil 2.15: Geri Dönüş Hattı ve Yardımcı Elemanlar

*Şekil 2.13* ve *2.14*' de görüldüğü gibi tekerlekli bir sistem ile eğimli bir platformun üzerinde alt tablalar kendiliğinden başlangıç konumuna gitmektedir. Ayrıca yapılacak olan hidrolik ya da pnömatik sisteme göre oldukça az maliyetlidir. Bunun yanı sıra tablolardaki yağlar dışarıya akmamakta ve tablalar başa gidip tekrar kullanılincaya kadar tasarlanan sistemde süzölmektedir. *Şekil 2.15* de ise geri dönüş hattında kullanılan yardımcı elemanlar görölmektedir.

### 2.5.1.5. TRIZ uygulama sonuçları

TRIZ tekniği firmada istenen sonucu günün şartları için sağlamış ve eldeki verilere göre optimumum çözümün bulunmasına yardımcı olmuştur. Şekil 2.16 da tablaların taşınması sırasındaki eski ve yeni sistemin karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 2.16: Eski ve Yeni Sistemin Karşılaştırılması

TRIZ yöntemi ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Taşıma tablaları yer çekimi ve eğim sayesinde hat başına kendiliğinden ulaşmaktadır.
- Bulunan çözüm ile tablaların altışarlı gruplar halinde test hattının başına taşınması sırasında geçen 50 saniye' lik zaman kaybı ortadan kaldırılmış ve üretimde yaklaşık %2' lik artış sağlanmıştır.
- İlk çözüm olarak düşünülen hidrolik ya da pnömatik sisteme göre maliyeti düşüktür.
- Yağların geri dönüş hattı ile tekrar kullanılması sağlanmaktadır.



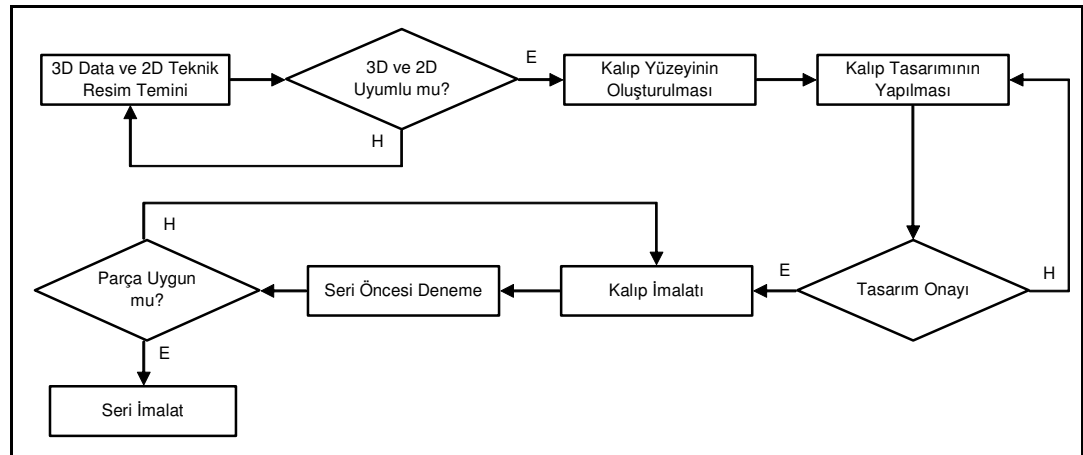
## 2.5.2. Uygulama-2 (Şahin ve Öztürk, 2009)

Otomotiv yan sanayinde faaliyet gösteren firma, imalat sürecinde artan maliyetleri azaltmak için iyileştirmeye gitmek istemektedir. Bunun için örnek bir parçanın plastik şekil verme sürecindeki aktif olarak yer alan kalıplarının yeniden dizaynını ya da iyileştirilmesini düşünmektedir. Yapılan imalat süreci iyileştirmesinde TRIZ yöntemine başvurulmuş ve TRIZ' in imalat optimizasyonunda etkin rol oynayabileceği görülmüştür.

### 2.5.2.1. Kalıp imalat süreci

Plastik şekil verme proseslerinin en önemli kısmı istenen parça şekline göre kalıpların tasarlanması ve üretilmesidir. İmal edilen kalıpların istenilen performansı sağlaması, ürünün kalitesini ve müşteri memnuniyetini etkileyeceğinden kalıp tasarım ve imalatı oldukça önemlidir. Kalıp imalinde zaman, kalite, malzeme tasarrufu ve uygun maliyet ile kalıpların tasarımı ve imalinin yapılması gerekir.

Parçayı imal edecek imalatçı ilk olarak parçanın CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) Data' sını müşteriden temin eder. Operasyonlar için gerekli yüzeyler oluşturulur ve yüzeylerin geliştirilmesi yapılır. Kalıbın tasarımı ve imalatından sonra, seri üretim yapılmadan önce kalıbın denemeleri yapılır. Prototip üretim ile kalıbın performansına bakılır. Kalıptan istenen verim alınıyorsa kalıbın imali yapılır ve seri üretime geçilir. Temel kalıp imalat adımları Şekil 2.17 deki gibidir.



Şekil 2.17: Temel Kalıp İmalat Adımları

Kalıpçılık “Metal Kalıpçılığı” ve “Hacim Kalıpçılığı” olmak üzere temelde iki sınıfa ayrılabilir (Kurt, 2002).

- Metal Kalıpçılığı: Talaş kaldırmadan veya talaş kaldırarak üretimin yapılmasını sağlayan kalıplardır.
- Hacim Kalıpçılığı: Farklı yöntemler kullanılarak metal veya metal dışı malzemelerini ergitilerek kalıp boşluğuna doldurulması ile hacimsel parça üretimini sağlayan kalıplardır.

#### **2.5.2.2. TRIZ’ in imalat problemine uygulanması**

Otomotiv sanayinde faaliyet gösteren firma, plastik şekillendirme ile imal edilen parçanın , toplam işçilik maliyetini azaltarak maddi kazanç ve toplam imalat süresini kısaltarak imalat kapasitesinde artış sağlamak için plastik şekil verme prosesinde iyileştirmeye gitmek istemektedir.

Hedeflenen süreç iyileştirmesinin gerçekleşmesi için örnek bir parçanın plastik şekil verme prosesinde kullanılan kalıplarının yeniden ele alınması düşünülmektedir. Yeni imal edilecek ya da iyileştirme yapılacak kalıpların zaman kaybını en aza indirecek, kullanımı, tamir edilebilirliği ve kontrolü kolay, istenilen ürün fonksiyonlarının üretilebilirliğine izin verecek ve kalıp şeklinin, imali yapılacak parçadan istenilen kalitede üretim yapılmasını sağlayacak nitelikte olması gerekmektedir.

Üründe istenen özelliklerin aynı anda bulunması çelişkiler meydana getirebilmektedir. Örneğin kullanılabilirliği ya da tamir edilebilirliği kolay olan bir kalıbın üretilebilirliği zor olabilir. Yeni tasarlanacak imalat sürecinde çelişkileri ortadan kaldırmak için ilk adım olarak, mühendislik değişkenlerinden problemimiz için çelişen değişkenler belirlenir. Bunlar;

- 12-Şekil
- 25-Zaman Kaybı
- 32-Üretilebilirlik
- 33-Kullanım Kolaylığı
- 34-Tamir Edilebilirlik
- 37-Kontrol Karmaşıklığıdır.

Çelişen mühendislik parametreleri belirlendikten sonra TRIZ çelişkiler matrisinden yaratıcı prensiplere bakılır. Örnek uygulama için oluşturulan çelişkiler matrisi ve çelişen mühendislik parametreleri için yaratıcı prensipler *Tablo 2.10* da görülmektedir.

Tablo 2.10: Örnek Uygulama İçin Çelişkiler Matrisi

ÇELİŞKİLER MATRİSİ	12- Şekil	25- Zaman Kaybı	32- Üretilebilirlik	33- Kullanım Kolaylığı	34- Tamir Edilebilirlik	37- Kontrol Karmaşıklığı
12-Şekil	-	14,10,34,17	1,32,17,28	-	-	-
25-Zaman Kaybı	4,10,34,17	-	35,28,34,4	4,28,10,34	32,1,10	18,28,32,10
33-Kullanım Kolaylığı	15,34,29,28	-	2,5,12	-	-	-
34-Tamir Edilebilirlik	-	32,1,10,25	1,35,11,10	-	-	-
37-Kontrol Karmaşıklığı	-	-	5,28,11,29	-	-	-

İkinci adımda çelişkiler matrisine taşınan mühendislik parametrelerinin aralarındaki ilişkiye göre gerçekleşen çelişiklerin yorumlanması yapılır. Örnek yorumlama olarak Tamir Edilebilirlik (34) x Üretilebilirlik (32) mühendislik parametrelerini ele alalım. Yeni tasarlanacak kalıbın tamir edilebilirliği kolay olabilecek şekilde tasarımı yapıldığında, kalıbın üretilebilirliği zor olabilir. Tamir Edilebilirlik (34) x Üretilebilirlik (32) mühendislik parametreleri için önerilen yaratıcı prensipler aşağıdaki gibidir;

*1: Bölümleme*

*35: Fiziksel ve Kimyasal Durum Değişikliği*

*11: Önceden Güvenilirliği Sağlama*

*10: Başlangıçta Eylemli*

Çelişen “Tamir edilebilirlik (34) x Üretilebilirlik (32)” mühendislik değişkenleri için, *1-Bölümleme* prensibi yeni tasarlanacak kalıbın iki kısma ayrılabilceğini akla getirmektedir. Aynı şekilde *Tablo 2.10* da yer alan diğer çelişkiler için önerilen prensipler incelendiğinde aşağıdaki prensiplerin yeni kalıp tasarımına etkisi olmuştur:

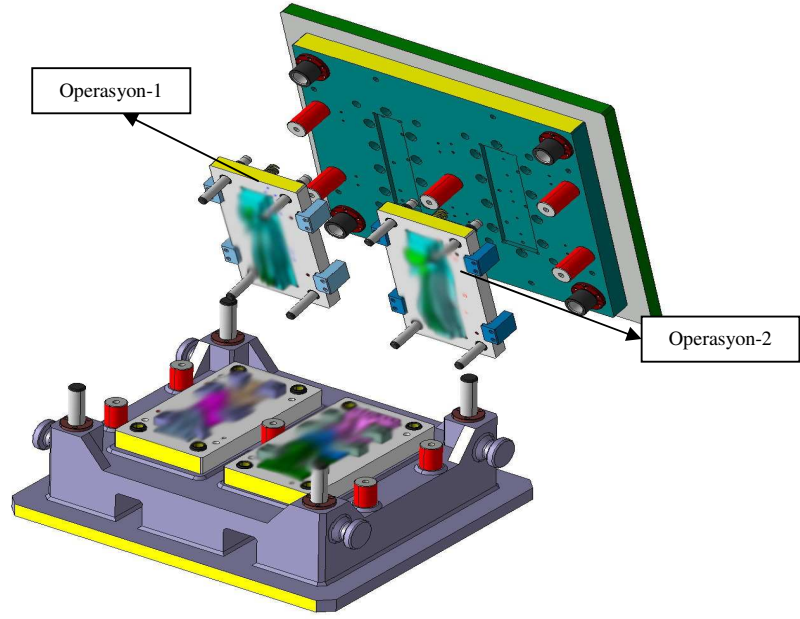
*1: Bölümleme*

*5: Birleştirme*

*10:Başlangıçta Eylemli*

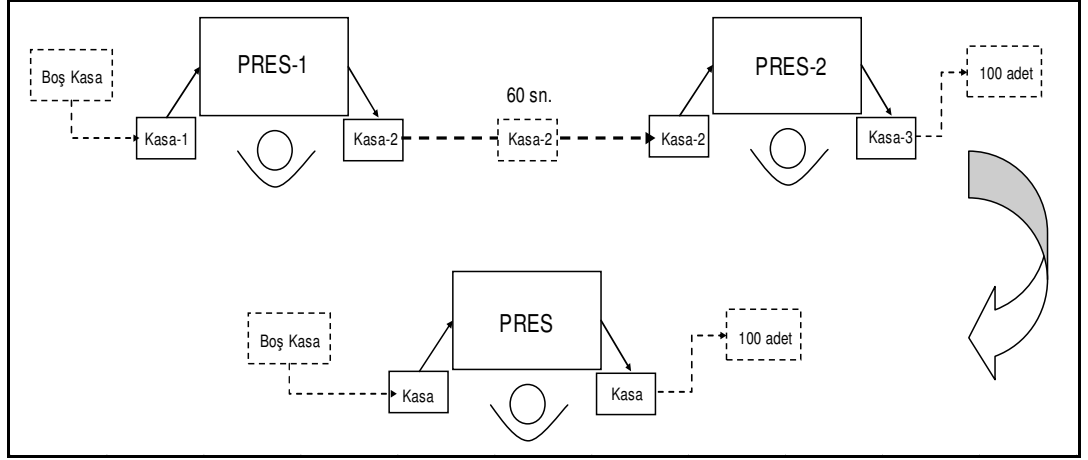
*14: Küresellik*

*Birleştirme-5* fikri iki farklı şekillendirme adımının aynı kalıpta toplanması fikrini oluşturmuş, *Bölümleme-1* prensibinden yola çıkılarak tek kalıp iki ayrı bölüme ayrılarak (operasyon-1 ve operasyon-2), iki farklı operasyon tek adımda birleştirilmiştir. *Küresellik-14* prensibinden kalıbın dayanımını artırmak için keskin köşelerden kaçınılmış, mümkün mertebe köşeler yuvarlatılmıştır. *Şekil 2.18* de iki farklı operasyonun tek adıma indirgenmesinde tasarlanan kalıp görülmektedir.



Şekil 2.18: İki Farklı Operasyonun Tek Kalıpta Toplanması

*Başlangıçta Eylemli-10* prensibi ile birleştirilecek operasyonlar için birbirlerine uzak preslerde kullanılan ve tonaj bakımından birbirini karşılayan iki farklı şekil verme operasyonu tercih edilmiştir ve operasyonlar arası taşıma süresi ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 2.19: İki Farklı Şekillendirme Durumu

Süreç iyileştirmesinden önce Şekil 2.19 da görüldüğü gibi ilk operasyon bittiğinde biten parçaların toplandığı kasalar 100 er adetlik taşıma kapasitesine ulaştığında takip eden diğer operasyon için diğer prese taşınmaktadır. Bu taşınma esnasında 60 sn. lik zaman harcanmaktadır. Yeni tasarlanan imalat sürecinde birbirini takip eden iki şekillendirme operasyonu aynı kalıpta toplandığından, 60 sn. lik zaman kaybı ortadan kaldırılmış ve taşıma süresi minimize edilmiştir.

### 2.5.2.3. TRIZ' in imalat sürecine etkileri

TRIZ' in imalat sürecine etkileri ve optimizasyon sonucunda elde edilen fayda aşağıdaki süreç iyileştirme hesaplarından görülmektedir.

#### Süreç Parametreleri\*

- Dönemlik Sipariş Öngörüsü- $N$  [adet]
- Çevrim Süreleri- $c$  [sn.]
- Gerekli Operatör Sayısı- $p$  [adam]
- Çevrimde Çıkan Parça Sayısı- $m$  [adet]
- Pres Süresi- $t$  [sn.]
- Vuruş Sayısı-  $n$

\* “ $_1$ ” alt indisi ilk imalat sürecindeki 1. operasyon süreç parametrelerini, “ $_2$ ” alt indisi ilk imalat sürecindeki 2. operasyon süreç parametrelerini ve “ $_s$ ” alt indisi yeni durumdaki operasyon süreç parametrelerini tanımlamaktadır.

Tablo 2.11: Operasyon süreleri, operatör sayıları ve operasyonlarda elde edilen parça sayıları

	Çevrim Süresi [sn.]	Parça Sayısı[adet]	Operatör Sayısı[adet]
1.Operasyon (İlk Durum)	12	2	1
2.Operasyon (İlk Durum)	10	2	1
Son Durumdaki Operasyon	16	2	1

### İlk İmalat Süreci:

İlk durumda parçanın şekillendirme operasyonu *Tablo 2.11* de görüldüğü üzere, iki farklı preste iki ayrı işlem adımı olarak yapılmaktadır. İlk durumdaki imalat akışı için “Toplam Pres Süresi ( $T_{ilk}$ )” ve “Gerekli İşgücü ( $M_{ilk}$ )” aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanır.

$$t = n \times c \quad [\text{sn.}] \quad (2)$$

$$n = \frac{N}{m} \quad (3)$$

### Toplam Pres Süresi ( $T_{ilk}$ )

İlk pres süresi ( $t_1$ ) ve ikinci pres süresi ( $t_2$ ) olmak üzere;

$$t_1 = \frac{N}{m_1} \times c_1 \quad [\text{sn.}] \quad (4)$$

$$t_2 = \frac{N}{m_2} \times c_2 \quad [\text{sn.}] \quad (5)$$

(4) ve (5) den “Toplam Pres Süresi ( $T_{ilk}$ )”;

$$T_{ilk} = t_1 + t_2 = \frac{N}{m_1} \times c_1 + \frac{N}{m_2} \times c_2 \quad [\text{sn.}] \quad (6)$$

sonuçta;

$$\boxed{T_{ilk} = N \left( \frac{c_1}{m_1} + \frac{c_2}{m_2} \right)} \quad [\text{sn.}] \quad (7)$$

olarak bulunur.

Gerekli İşgücü ( $M_{ilk}$ )

İlk durumda preslerde gerekli olan iş gücü aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Milk = (t_1 \times p_1) + (t_2 \times p_2) \quad (8)$$

(4) ve (5) yerine koyulursa;

$$Milk = \left( \frac{N}{m_1} \times c_1 \times p_1 \right) + \left( \frac{N}{m_2} \times c_2 \times p_2 \right) \quad [\text{adam x sn.}] \quad (9)$$

olur. Sonuçta;

$$\boxed{Milk = N \left( \frac{c_1 \times p_1}{m_1} \right) + \left( \frac{c_2 \times p_2}{m_2} \right)} \quad [\text{adam x sn.}] \quad (10)$$

olarak bulunur.

**Yeni İmalat Süreci:**

Tablo 2.11 deki değerler yardımıyla son durumdaki “Pres Süresi ( $T_{son}$ )” ve “Gerekli İşgücü ( $M_{son}$ )”;

$$t_s = \frac{N}{m_s} \times c_s \quad (11)$$

$$Tson = t_s \quad (12)$$

$$\boxed{Tson = N \times \frac{c_s}{m_s}} \quad [\text{sn.}] \quad (13)$$

olarak bulunur.

$$Mson = t_s \times p_s \quad [\text{adam x sn.}] \quad (14)$$

(12) yerine konursa;

$$\boxed{Mson = N \times \frac{c_s}{m_s} \times p_s} \quad [\text{adam x sn.}] \quad (15)$$

**Kazançların Hesaplanması**

1) Toplam Pres Süresinden elde edilen kazanç “ $T_k$ ”;

$$Tk = T_{ilk} - T_{son} \text{ [sn.]} \quad (16)$$

$$Tk = N \left( \frac{c_1}{m_1} + \frac{c_2}{m_2} \right) - N \times \frac{c_s}{m_s} \text{ [sn.]} \quad (17)$$

$$\boxed{Tk = N \left( \frac{c_1}{m_1} + \frac{c_2}{m_2} - \frac{c_s}{m_s} \right)} \text{ [sn.]} \text{ bulunur.} \quad (18)$$

2) Gerekli İşgücünden elde edilen kazanç “ $M_k$ ”;

$$Mk = M_{ilk} - M_{son} \text{ [adam x sn.]} \quad (19)$$

$$Mk = N \left( \frac{c_1 \times p_1}{m_1} \right) + \left( \frac{c_2 \times p_2}{m_2} \right) - \frac{N \times c_s \times p_s}{m_s} \text{ [adam x sn.]} \quad (20)$$

$$\boxed{Mk = N \left( \frac{c_1 \times p_1}{m_1} + \frac{c_2 \times p_2}{m_2} - \frac{c_s \times p_s}{m_s} \right)} \text{ [adam x sn.]} \text{ bulunur.} \quad (21)$$

Makine birim fiyatı “ $L_m$  (ytl/sn)” ve Operatör birim fiyatı “ $L_o$  (ytl/sn)” olursa; makine ve operatörden elde edilen maddi kazanç;

$$\text{Makineden elde edilen maddi kazanç: } \boxed{K_m = T_k \times L_m} \text{ [ytl]} \quad (22)$$

$$\text{Operatörden elde edilen maddi kazanç: } \boxed{K_p = M_k \times L_o} \text{ [ytl]} \quad (23) \text{ olur.}$$

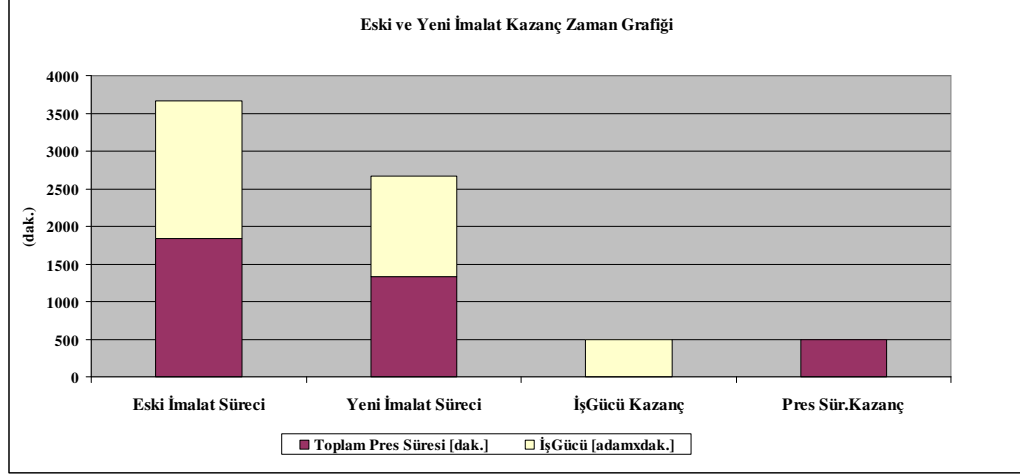
Toplam pres süresinden elde edilen kazanç “ $T_k$ ” ve işgücünden elde edilen kazanç “ $M_k$ ” hesaplanmıştı. Sayısal örnek olarak 10000 adetlik siparişten elde edilen kazanç zamanlar;

$$Tk = N \left( \frac{c_1}{m_1} + \frac{c_2}{m_2} - \frac{c_s}{m_s} \right) = 10000 \left( \frac{12}{2} + \frac{10}{2} - \frac{16}{2} \right) = 30000 \text{ [sn.]} = 500 \text{ [dak.]} = 8,34 \text{ [saat]}$$

$$Mk = N \left( \frac{c_1 \times p_1}{m_1} + \frac{c_2 \times p_2}{m_2} - \frac{c_s \times p_s}{m_s} \right) = 10000 \left( \frac{12 \times 1}{2} + \frac{10 \times 1}{2} - \frac{16 \times 1}{2} \right) = 30000 \text{ [adam x sn.]} = 500 \text{ [adam x dak.]} = 8,34 \text{ [adam x saat]} \text{ olarak bulunur.}$$



Tablo 2.12: Örnek Üretim Miktarı İçin Kazançların Karşılaştırılması



Tablo 2.12 de 10000 adetlik örnek üretim miktarı için pres süresi ve işgücünden elde edilen kazanç zaman grafiksel olarak gösterilmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi yeni imalat sürecinde toplam zamanda yaklaşık % 27 lik azalma meydana gelmektedir.

#### 2.5.2.4. TRIZ uygulama sonuçları

Yapılan optimizasyon çalışması sonucunda, çalışmanın başında hedeflenen toplam işçilik maliyetini azaltarak maddi kazanç ve toplam imalat süresini kısaltarak imalat kapasitesinde artış sağlanması hedeflerine TRIZ yöntemi yardımı ile ulaşılmıştır. Optimizasyon sonunda elde edilen kazanımlar Tablo 2.13 de gösterilmiştir.

Tablo 2.13: Eski ve Yeni İmalat Süreci Karşılaştırması

	Eski İmalat Süreci	Yeni İmalat Süreci
Pres Sayısı [adet]	2	1
Operatör Sayısı [adet]	2	1
Kalıp Sayısı [adet]	2	1
Parça Taşıma Zamanı [sn.]	60	0
Toplam Çevrim Zamanı [sn.]	22	16

Optimizasyon sonucunda;

- Pres ve kalıp sayısı 2' den 1' e düşürülerek, preslerde boş kapasite elde edilmiştir.
- Operatör sayısı 2' den 1' e düşürülerek, diğer operatörün başka bir alanda kullanılması sağlanmıştır.
- İki pres arası taşıma için geçen 60 sn.lik zaman ortadan kaldırılmıştır.
- Çevrim süresi azaltılarak müşteri talebine daha çabuk cevap verilebilir duruma gelinmiştir.

### 2.5.3. Uygulama-3: TRIZ' in FMEA' ya entegrasyonu

Önceki bölümlerde anlatılan iki uygulamada görüldüğü gibi TRIZ metodolojisi tasarım ve imalat süreçlerindeki problemlere yaratıcı ve optimum çözümler bulunmasına yardımcı olan bir tekniktir. TRIZ yöntemi ile problemlere yaratıcı çözümler bulunabilmekte ve optimum sonuçlar elde edilebilmektedir.

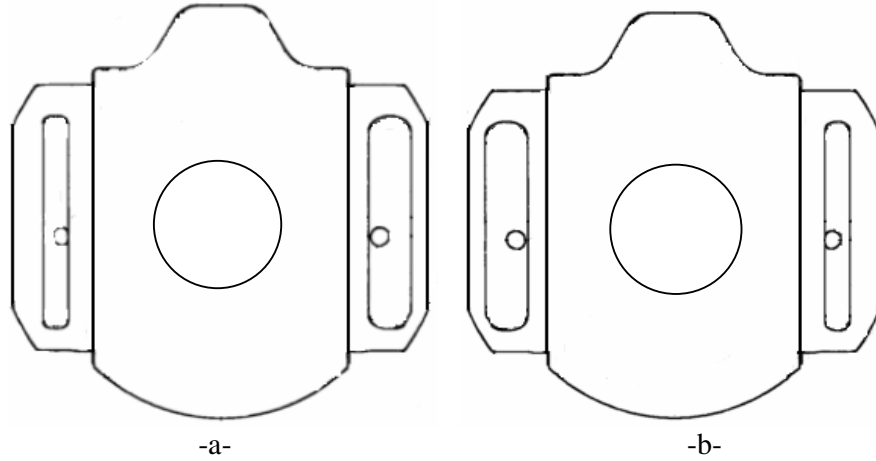
FMEA yöntemi ile üretime dayalı çalışan firmalarda tasarım ve imalat süreçlerindeki işlem adımları yakından takip edilebilmekte, potansiyel hatalar saptanıp, hatalar oluşmadan çözümler üretilip, kaliteli ve güvenli üretim yapılması sağlanmaktadır. FMEA yönteminin belki de en can alıcı noktası, potansiyel hataların saptanıp bu hatalara çözümler bulunmasını desteklemesidir. Potansiyel hataların önceden saptanıp optimum çözümler bulunması kaliteli bir üretim anlayışını sağladığı gibi, müşteri memnuniyetini de artırmaktadır.

FMEA yönteminin tanıtımını yaptığımız önceki bölümlerde bahsedildiği gibi süreç değerlendirilmesi yapıldıktan sonra hatanın olasılık, yakalanabilirlik ve etki değerlendirilmesi yapıldıktan sonra RÖS değeri hesaplanır ve bu değer belirlenmiş bir değer üzerinde ise RÖS' ün düşürülmesi için çeşitli önlemler alınır. Özellikle müşteriye yansiyabilecek hatalarda alınması gereken önlemlerin hızlı, akılcı, optimum fayda sağlayan ve düşük maliyet ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir. İşte bu noktada TRIZ gibi yaratıcılık seviyesini artıran, problemlere akılcı ve optimum çözümler getiren tekniklerden yararlanmak ve bu teknikler ile FMEA' nın problem çözme kısmını geliştirmek gerekmektedir. FMEA' nın asıl amacı; proses akışının doğru takip edilebilirliğini sağlamak, potansiyel hataları etki, yakalanabilirlik ve önem dereceleri ile belirleyip hatanın yerini gösterip, hatalara ivedilikle çözüm yollarının aranmasına hız kazandırmaktır. FMEA problemlere nasıl çözüm bulunacağından çok, problemlerin önem ve tanımlanması ile ilgilenir. Özellikle montaj gibi üretimin son adımı olan, olası hatalara çözüm alınmaması durumunda hatanın etkisini direkt müşteride gösteren, önceki proseslerin kontrolünün yapılmasının gerekli olduğu proseslerde hatalara yaratıcı ve optimum çözümler bulunması daha da önemlidir.

Yapılan bu uygulamada, hazırlanmış Montaj-FMEA çalışmasına DFA tekniğinin temel amaçlarından biri olan montaj işlemindeki kayıpları azaltmak, montaj operasyonunu hızlandırıp, montaj maliyetlerini düşürmek için geliştirilen ve kullanılan optimizasyon metotlarına farklı bir yaklaşım geliştirilip TRIZ, DFA optimizasyon tekniği olarak kullanılmış; TRIZ öncesi ve sonrası durumlar değerlendirilip, TRIZ yönteminin FMEA çalışmasının problem çözme kısmına entegre edilebileceği gösterilmeye çalışılmıştır.

### 2.5.3.1. Problemin tanımlanması

Hidrolik pompa üretimi yapan firmada, üretimini yaptıkları bir ürün ile ilgili FMEA çalışması yapılmıştır. FMEA çalışmasında o günkü şartlar doğrultusunda potansiyel problemlere çözümler önerilmiş ve uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde anlatılacak uygulamada montajı yapılan ürünün, karışma olasılığı yüksek alt bileşenlerinden ikisinin karışmasını önlemek için bulunan çözüm anlatılacaktır. İki ürünün şematik görüntüsü aşağıdaki Şekil 2.20 de görülebilir.



Şekil 2.20: a)A tipi b)B Tipi

Ürünün birbirine çok benzeyen iki alt bileşeninin montajı gerçekleştirilirken bu iki farklı tipin birbirine karışma olasılığı yüksektir. Özellikle bir önceki proses olan talaşlı imalat sürecinde, iki farklı tip aynı proseslerde işlem görmekte ve aynı süreçlerden geçmektedir. İki tipin ayırt edilebildiği tek nokta iki tarafındaki kanal genişlikleridir. A tipinde sağ kanal geniş, sol kanal dar; B tipinde ise sağ kanal dar, sol kanal geniştir. İki

farklı tip talaşlı imalat sürecinde aynı proseslerden geçmekte, aynı renk ve özellikteki taşıyıcı kutularda taşınmaktadır. Talaşlı imalat sürecinde olası karışımları önlemek için çeşitli önlemler alınmasına rağmen, operatör dalgınlıkları, birbirini takip eden prosesler arası mesafelerin yakın olması, üretim adedinin fazla ve tip dönmenin sık yaşanması nedeniyle farklı tiplerin aynı kasalara konulma ihtimali tam anlamıyla ortadan kaldırılamamıştır. Bu nedenle ürünün müşteri öncesi son adımı olan montaj prosesinde, hatalı ürün montaj riski devam etmektedir. Hatalı ürün montajı yapılması, ürün fonksiyonlarının tam gerçekleşmemesine, ppm (parts per million: milyonda bir) hata değerinin artmasına, kalitesiz ürün üretilmesine ve en önemlisi de müşteri memnuniyetinin azalmasına neden olabilmektedir. Olası hatanın ortadan kaldırılmasının kaliteli ürün üretilmesine ve müşteri memnuniyetinin artırılmasına katkı sağlayacağı açıktır.

### 2.5.3.2. FMEA' nın değerlendirilmesi

Gerçekleştirilen montaj operasyonu ile ilgili yapılan FMEA çalışmasının ilgili kısmı aşağıda görülebilmektedir.

Tablo 2.14: TRIZ Uygulaması Öncesi Mevcut FMEA Çalışmasının Bir Kısmı

Muhtemel Hata	Muhtemel Sonuç	Mevcut Kontrol	Mevcut Durum				Tavsiye Edilen Önlem	Sorumlu/Termin	Gerçekleştirilmiş Önlem	Olasılık	Önem	Yakalanabilirlik	RÖS
			Olasılık	Önem	Yakalanabilirlik	RÖS							
Yanlış Parça Montajı	Fonksiyonel Hata	Otomatik Fonksiyon Testi	3	8	5	120	Parçalara %100 göz kontrolü	x/xx.xx.xxxx	%100 göz kontrolü ile yapılmış parçalar ile montaj	3	8	3	72

Yapılan FMEA çalışmasında potansiyel problem için olasılık, önem ve yakalanabilirlik değerleri *Tablo 2.14* de görülmektedir. İlk durum için RÖS değeri 120 ve hatanın önem derecesi 8 dir. Hatanın önem derecesinin ve RÖS değerinin yüksek olması hataya çözüm yolları aramayı zorunlu kılmaktadır. İlk durumda potansiyel

hatayı önlemek için parçalara %100 göz kontrolü yapılması düşünülmüştür. Alınan önlem değerlendirildiğinde hatada düşüş yaşandığı gözlenmiş ve yeni durumda RÖS değeri 72' ye düşmüştür. Yeni durumdaki RÖS değeri yeterli gibi görünse de hatanın öneminin yüksek olması, potansiyel hatanın devamlı takip edilmesini ve hatanın ortadan kaldırılması için çeşitli çözümler üretilmesini gerektirmektedir. İlerleyen günlerde potansiyel hata için müşteriden gelen şikayet hataya çözüm yolları aramayı ve hatanın ortadan kaldırılmasını zorunlu hale getirmiştir. Hatanın yakalanamaması müşteri memnuniyetini düşürmekte ve firmanın pazardaki konumunu zedelemektedir. Hatanın ortadan kaldırılması için yaratıcı ve düşük maliyetli bir çözüm bulunarak kaliteli üretim yapılmalıdır.

### **2.5.3.3. TRIZ ile probleme çözüm arama**

Mevcut hataya çözüm aramak için TRIZ yönteminden yararlanılabilir. Daha önce de bahsettiğimiz gibi FMEA hatalara çözüm yolları aramaktan çok hataların tanımını ve önemini belirlemekte ve prostedeki olası hataların daha yakından takip edilmesine olanak sağlamaktadır.

Hatanın ortadan kaldırılması için beyin fırtınası vb. tekniklerden yararlanılmış fakat ileriye dönük kalıcı çözümler üretilememiştir. Alınması gereken önlem ya da olası bir kontrol sistemi dar bir çalışma alanına sahip montaj prosesinde fazla yer kaplamamalıdır. Çok fazla enerji harcamamalı, dayanımı yüksek ve kontrol edilecek parçalara zarar vermeyecek şekilde tasarlanmış olması, güvenilir ve ölçüm doğruluğunu sağlaması gerekmektedir. Kullanımı kolay ve otomasyon seviyesi düşük olmalıdır. Hatanın ortadan kaldırılmasını sağlayacak bu sistemde istediğimiz özellikler "*TRIZ Mühendislik Değişkenleri*" ni oluşturmaktadır. Örnek problemimiz için TRIZ Mühendislik Değişkenleri aşağıdaki gibidir;

- 8- Sabit Nesnenin Hacmi
- 9- Hız
- 25- Zaman Kaybı
- 27- Ölçüm Doğruluğu
- 28- Güvenilirlik
- 33- Kullanım Kolaylığı
- 38- Otomasyon Seviyesi

Mühendislik Değişkenleri belirlendikten sonra TRIZ çelişkiler matrisine taşınır ve aralarındaki ilişkiler bakılarak, önerilen yaratıcı prensipler ile çözüm yolları aranır.

Tablo 2.15: Örnek Uygulama için Çelişkiler Matrisi

ÇELİŞKİLER MATRİSİ	9-Hız	27-Ölçüm Doğruluğu	28-Güvenilirlik	33-Kullanım Kolaylığı	38-Otomasyon Seviyesi
8-Sabit Nesnenin Hacmi		2,35,16			
9-Hız		11,35,27,28	28,32,1,24		
25-Zaman Kaybı		10,30,4	24,34,28,32		
27-Ölçüm Doğruluğu	21,35,11,28			27,17,40	
28-Güvenilirlik	28,13,32,24			1,13,17,34	28,2,10,34
33-Kullanım Kolaylığı			25,13,2,34		

Tablo 2.15 den görüldüğü gibi problemimiz için *Çelişkiler Matrisi*'nden birçok yaratıcı prensip elde edilir. Buradaki prensiplerden özellikle aşağıdaki yaratıcı prensipler hatayı önlememiz için nasıl bir önlem almamız konusunda yardımcı olmuştur.

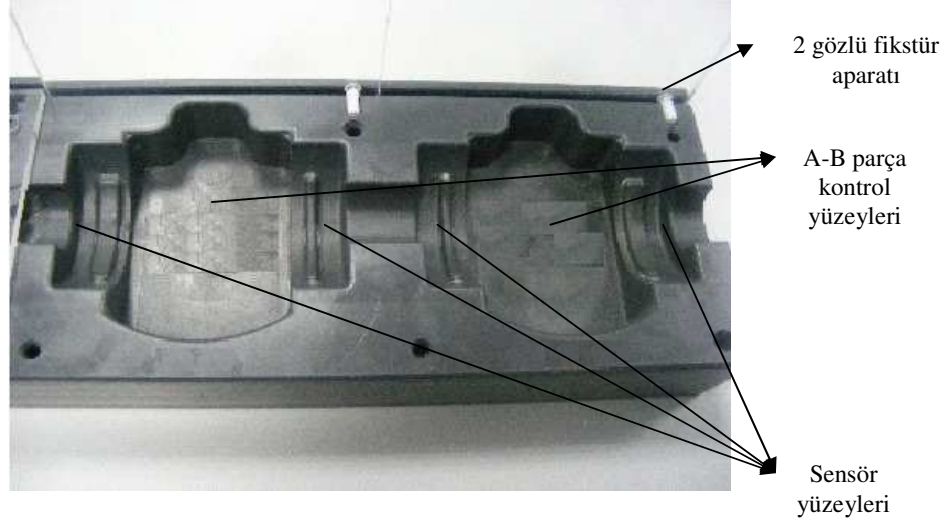
- Bölümleme
- Ayırma
- Asimetri
- Diğer Boyut
- Aracı Kullanmak
- Mekanik Sistemin Yerine Koyma
- Kompozit Malzemeler

Hatanın önlenmesi için parçaların kontrolünü yapacak ve kontrol esnasında farklı tiplerin karışmasını algılayacak bir aparatın imal edilmesine karar verilmiştir. Aparat montaj hattına konulacak, A ve B montaj parçalarının montajından önce parçaların kontrolünü yapacak ve hatalı parça karışımını önleyecektir. Bu çözümün

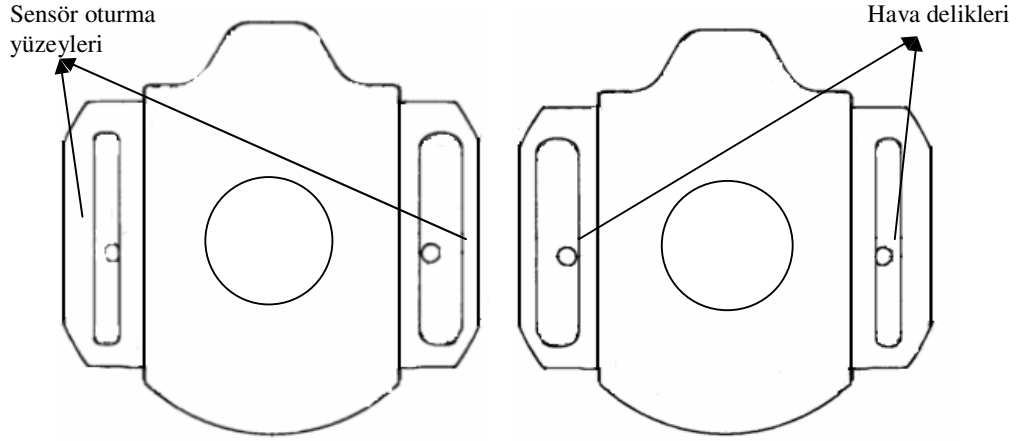
oluşturulmasında maliyet faktörü de önemlidir. Tasarlanacak aparat düşük maliyetli ve sonuç odaklı olmalıdır.

Parçaların *Asimetri(4)* özelliğinden yararlanarak parçaların karışmasını önleyebilen bir sistem tasarlanabilir. Yukarıda bahsettiğimiz gibi iki parçanın ayırt edici özelliği sağ ve sol kanallarının genişliklerinin asimetric olmasıdır. *Diğer Boyut(17)* prensibinden hareketle A ve B parçalarının 3 boyutlu durumları göz önüne alınarak tasarlanacak kalıpta, yüzeylerin kalıbı çıkarılıp dişi-erkek prensibi ile farklı genişlikteki kanalların birbiri içerisine oturması önlenecektir. *Bölümleme(1)* ile aparat iki farklı kalıba ayrılacak, bu sayede her iki tip de kontrol edilebilecek; her tip için ayrı aparat yapımı maliyeti ve yer tahsis problemi ortadan kaldırılacaktır. Doğru kontrol noktalarının kullanılmasını sağlamak için kullanılmayan kontrol kalıbı flexiglas bir kapak ile ayrılacak (*Ayırma-2*), her kontrolde doğru kalıbın kullanılıp kullanılmadığı göz ile kontrol edilebilecektir. Kontrol mekanik bir sistem vasıtasıyla sağlanacak (*Aracı Kullanmak-24*) ve *Mekanik Sistemin Yerine Koyma(28)* prensibi ile cisimlerle etkileşmek için elektrik, manyetik alanlar kullanılacaktır. Yapılacak aparatın malzeme seçimi oldukça önemlidir. Seçilecek malzeme dökümden elde edilen A ve B parçalarına zarar vermeyecek, dayanımı yüksek, ucuz, uzun süre aşınmayacak ve aşınma yaşansa dahi malzemedan parça kopmaları olmadan aşınacak tok ve sünek bir malzeme olmalıdır. Burada malzeme seçiminde *Kompozit Malzeme (40)* seçimi yapılabilir. Kompozit malzemelerin en önemli özellikleri; yüksek mukavemetli, kolay şekillendirilebilen, titreşim sönümlendirebilme ve yüksek dayanım gibi özelliklere sahip olmalarıdır. Yapılacak aparatta kompozit malzeme ya da kompozit malzemelerdeki özelliklere yakın kabul edilebilir özelliklere sahip bir malzeme seçilmelidir. Uygun fiyatı ve istenen özellikleri sağlayabildiğinden dolayı malzeme olarak “derlin” seçilmiştir. Derlin malzeme kolay işlenebilir, dayanımı yüksek ve kolay aşınmayan bir malzemedir. *Şekil 2.21* de tasarlanan aparat görülmektedir.





Şekil 2.21: Tasarlanan Aparat ve Kontrol Yüzeyleri



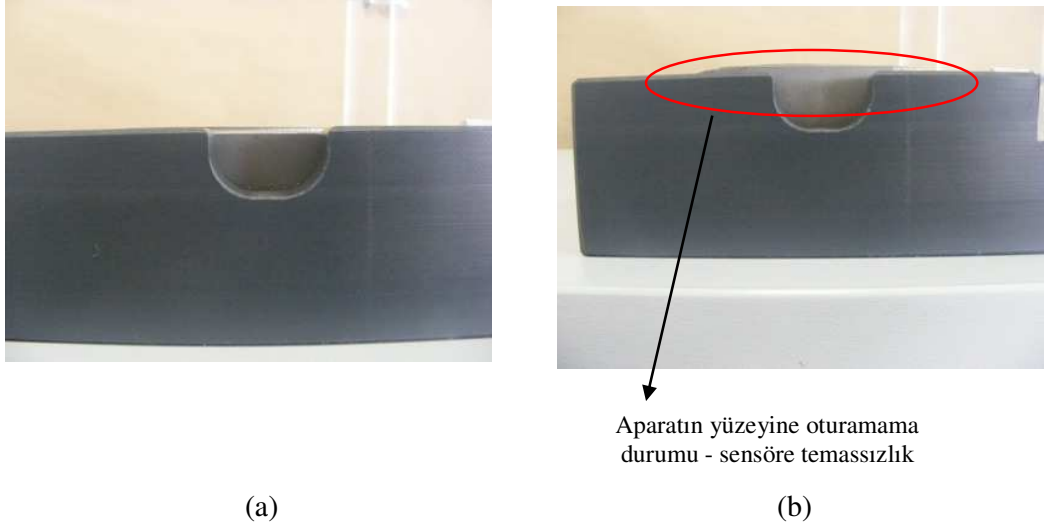
Şekil 2.22: Parça Sensör Oturma Yüzeyleri ve Hava Delikleri

A ya da B parçalarından kontrol edilecek tip kendisi için ayrılmış yuvaya konulacak ve kenarlara yerleştirilecek sensörlere, sensör oturma yüzeyleri (Bkz. Şekil 2.22) ile temas sağlanarak montaj hattında bulunan uyarıcı lambalarda “yeşil” ışık yanacaktır. Eğer yanlış tip konulursa sağ ve sol kenarlardaki kanalların genişliklerinin farklı olması nedeniyle yanlış parça sensörlere temas edemeyecek ve “kırmızı” ışık ile operatöre uyarı verecektir (Şekil 2.23).



Şekil 2.23: Sistemin Çalışması

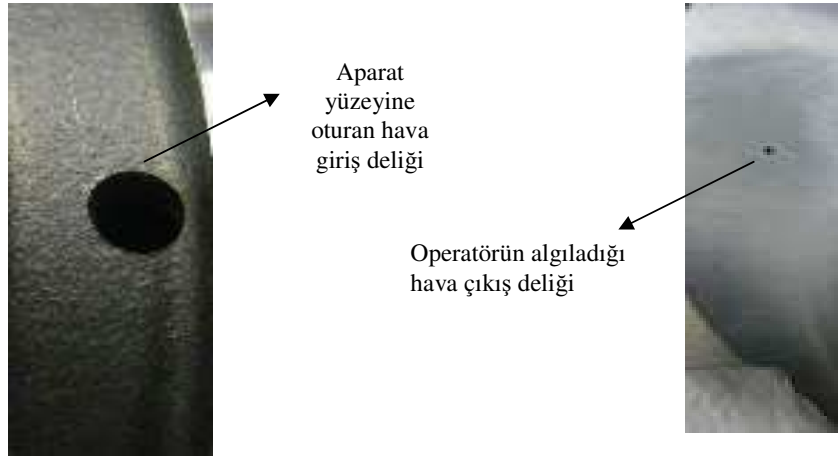
Şekil 2.24 de yanlış parçaların aparata konumlandırılması durumunda parçaların sensörlere oturamama durumu görülmektedir.



Şekil 2.24: a) Doğru parçayı konumlandırma b) Yanlış parçayı konumlandırma

Ayrıca montaj hattına A ve B tiplerinin montajının yapıldığı istasyona bir stoper konulacak, yanlış parça testi esnasında stopere uyarı gidecek ve stoper doğru paça test edilene kadar ürünün bir sonraki istasyonuna geçiş izni vermeyecektir.

A ve B parçalarının montajı öncesinde havalı tabanca yardımı ile Şekil 2.25 de görülen deliklerin açık olup olmadığı kontrol edilmektedir. Tasarlanan aparat ile delik kontrollerinin parça kontrolü sırasında yapılması sağlanmıştır. Doğru parça fikstüre konumlandırıldığında fikstüre açılmış hava deliklerinden basınçlı hava verilmekte ve doğru parça kontrolü esnasında parçadaki deliklerin açık olup olmadığı da kontrol edilmektedir. Bu kontrol ile deliklere operatörler tarafından hava tutularak deliklerin açık olup olmadığı kontrol operasyonu da kaldırılmış olmaktadır.



Şekil 2.25: A ve B parçaları hava kontrol delikleri

Tasarlanan fikstür ile hem doğru parçanın montajının gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilebilmekte, hem de parçalarda bulunan deliklerin açık olup olmadığı kontrol edilmektedir. Şekil 2.26 da kontrol aparatının son hali görülmektedir.



Şekil 2.26: Aparatın son durumu

### 2.5.3.4. TRIZ' in FMEA' ya entegrasyon uygulama sonuçları

Sağlanan kontrol sistemi ile insan faktörü minimuma indirilmiş ve kontrol otomasyon sistem ile sağlanmıştır. Yeni durumda elde edilen FMEA değerleri *Tablo 2.16 da* görülmektedir.

Tablo 2.16: TRIZ sonrası FMEA Değerleri

Muhtemel Hata	Muhtemel Sonuç	Mevcut Kontrol	Mevcut Durum				Tavsiye Edilen Önlem	Sorumlu/Termin	Gerçekleştirilmiş Önlem	Olasılık	Önem	Yakalanabilirlik	RÖS
			Olasılık	Önem	Yakalanabilirlik	RÖS							
Yanlış Parça Montajı	Fonksiyonel Hata	Otomatik Fonksiyon Testi	3	8	5	120	Parçalara %100 göz kontrolü	x/xx.xx.xxxx	%100 göz kontrolü ile yapılmış parçalar ile montaj	3	8	3	72
							Otomasyon kontrol aparatı ile parçaların kontrolü	x/xx.xx.xxxx	Montaj öncesi otomasyon kontrol aparatı ile parçaların kontrol edilmesi	3	8	1	24

Tablo 2.17 den görüldüğü gibi TRIZ ile mevcut hataya çözüm bulunması sonrası RÖS değeri 24' e düşürülmüş ve kontrol esnasında operatör etkisi minimuma indirilmiştir. Yapılan sistem aparat tasarımı ve otomasyon sisteminin kurulması ile birlikte yaklaşık 650 € ' ya mal olmuştur. Hatanın yakalanma şansının artırılması ve kaliteli bir üretim yapılmasının yanında sistemin maliyeti oldukça uygun görülmektedir.

Tablo 2.17: TRIZ Uygulama Öncesi ve Sonrası Karşılaştırma

	TRIZ Öncesi	TRIZ Sonrası
FMEA RÖS Değeri	72	24
FMEA Hata Yakalanabilirliği	3	1
Kontrol Sistemi	İnsan Kaynaklı	Otomasyon Kaynaklı
Hata Uyarı Şekli	Yok	Görsel

Yapılan uygulamadan görüldüğü gibi FMEA' nın hata önleme kısmına TRIZ' in entegrasyonu sağlanmıştır. Montaj işlemlerinde oldukça yoğun uygulama alanına sahip DFA tekniğinin temel amacı olan montaj maliyetlerini düşürmek prensibinden hareketle TRIZ yönteminin montaj optimizasyon çalışmalarında yaratıcı problem çözme tekniği olarak kullanılabileceği ve DFA, FMEA gibi hata önleme ve optimizasyon tekniklerine kolaylıkla adapte edilebileceği görülmektedir.

## SONUÇ

TRIZ metodu günümüzde ulusal ve uluslar arası birçok birey ve firma tarafından tanınmaya ve uygulanmaya başlanmıştır. Artan rekabet ortamı bireyleri ve firmaları mevcut veya olası problemlerine mümkün olan en kısa sürede optimum çözüm bulmalarını zorunlu hale getirmiştir. TRIZ yöntemi birtakım bilgi ve teknikler yardımıyla bireylerin yaratıcılık yeteneklerini artırmaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında örnek olarak 3 uygulama ele alınmıştır. Yapılan ilk iki uygulamada TRIZ yönteminin tasarım ve imalat süreçlerinde pratikteki uygulanabilirliği gösterilmiştir. Ele alınan son uygulamada ise TRIZ' in FMEA' nın iyileştirme önerilerinin bulunması ve değerlendirilmesi aşamasına entegre edilebileceği görülmektedir.

Uygulama-1 ve Uygulama-2 den görülmektedir ki TRIZ metodu pratikteki problemlere uygulanabilir ve günün şartları için optimum çözüm sağlayabilir. Bulunan çözümler yaratıcı çözümleri desteklemekte ve elde edile sonuçlar ile günümüzün en önemli kriteri olan maliyet üzerine etkisi büyüktür. Uygulama-3, TRIZ' in FMEA' ya entegrasyonunun sağlanabileceğini göstermektedir. FMEA yöntemi mevcut ve/veya olası hatalara sistematik yaklaşmamızı ve problemlerin ortaya çıkmadan kaldırılması için yapılacak çalışmaları tetikleyen bir tekniktir. FMEA çalışmalarının en kritik noktası tespit edilen hatalara düşük maliyetli ve kalıcı çözümler bulmaktır. Çözüm bulma sürecinin mümkün olan en kısa zamanda tamamlanması olası hataların önüne daha çabuk geçmemize, mevcut hatalarda ise kalıcı aksiyonları tamamlamamızı sağlar. Yapılan çalışma göstermiştir ki TRIZ tekniği ve çözüm araçları iyi anlaşıldığında FMEA' nın iyileştirme süreci kısaltılabilir. İyileştirme sürecinin kısalması yanında çözümün kalıcı olması ve düşük maliyet ile sağlanması ise bir artı değerdir.

Bireylerin aklına “Peki TRIZ' i her teknik soruna uygulayabilir miyim?” ya da “TRIZ her problemin sonucu olabilir mi?” sorusu gelebilir. Şu unutulmamalıdır ki TRIZ çözüm üreten değil; bireyleri çözüm bulmaya yönlendiren, problemlere sistematik yaklaşımı sağlayan, pratik ve yaratıcı düşünme yeteneğini geliştiren bir kuram ya da

düşünce sistemidir. TRIZ yaratıcılığı geliştirdiğinden her probleme tek bir sonuç değil birden fazla çözüm bulunmasına yardımcı olacaktır. Bu nedenle mevcut ve/veya olası problemlerin çözümününün kişiden kişiye değişeceği açıktır.

## KAYNAKLAR

AĞPAK, K., H.GÖKÇEN, N.N.SORAY, S.ÖZEL. 2002. Stokastik Görev Zamanlı Tek Modelli U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Bir Sezgisel. Gazi Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Dergisi, Cilt: 17, No: 4, 115-124.

AKÇAKIR, F. 2002. Hata Modu Etkisi Analizlerinde, Hata Modlarının Belirlenmesi Amacıyla QFD ve Çözümlerinin Belirlenmesi Amacıyla TRIZ Tekniklerinin Kullanılması Üzerine Bir Araştırma. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

ALMANNAI, B., R.GREENOUGH and J.KAY. 2008. A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation Technologies. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing Vol:24, 501–507

ALTSHULLER, G. ; Çeviren: Dr. Bülent AKAT, 2007. Ve Birden Mucit Ortaya Çıkıverdi, TRIZ Yaratıcı Problem Çözme Kuramı. Elma Yayınevi, İstanbul.

BLIGH, A. 2006. The Overlap Between TRIZ and Lean. IME 552: Lean Manufacturing Systems, University of Rhode Island, 23 Mart 2006.

BÜYÜKÖZKAN, G. 2005. Ürün Geliştirme Sürecinde Destek Tasarım Teknikleri ve Anahtar Başarı Faktörleri. V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul Ticaret Üniversitesi, 25-27 Kasım, Sayfa:279-283.

ÇİLSAL, ONUR O. 2005. Yenilikçi-Yaratıcı Sorun Çözme Yaklaşımının (TRIZ) İmalat İçin Tasarım (DFM) Alanına Uygulanması. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Bursa.

FEO, J.A., Z. BAR-EL. 2002. Creating strategic change more efficiently with a new Design for Six Sigma Process. Journal of Engineering Design 15 S:405-424.

GILCHRIST, W. 1993. Modelling Failure Modes and Effects Analysis. International Journal of Quality and Reliability Management, Bradford.

HACIEVLİYAGİL, N.K., S. ERCAN ve B. CAN METİN. 2005. Yenilikçi Sorun Çözme Kuramının Stratejik Önemi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Yıl:4 Sayı:7, S:93-102. İstanbul.

JUGULUM, R., and M. ŞEFİK. 1998. Building A Robust Manufacturing Strategy. Computers & Industrial Engineering, October, Vol 35, pp 225-228.

KAPUCU, S. 2003. Yenilikçi Yaratıcı Problem Çözme Teorisi İle Teknolojik Öngörü. Mühendis ve Makine, Ocak, No:516, Sayfa:16-21.

KAPUCU, S., A. BAYKASOĞLU ve T. DERELİ. 2001. Toplam Kalite Yönetimi Uygulamalarında Kullanmak İçin Yenilikçi-Yaratıcı Problem Çözme Yaklaşımı: TRIZ. TMMOB Makine Mühendisleri Odası II. Kalite Sempozyumu, 15-16 Haziran, Bursa.



KARATAYLI, İ. 2008. İnovasyon Fikirleri Geliştirmek İçin Bir Teknik: TRIZ. Strateji Bülteni, Ocak-Mart 2008, Sayı:7.

KESKİNTÜRK, T. ve B. KÜÇÜK. 2006. Karışık Modelli Montaj Hatlarının Genetik Algoritma Kullanılarak Dengelenmesi. Yönetim, Şubat, Yıl: 17, Sayı: 53.

KURT, H. 2002. Kalıpcılık Tekniği ve Tasarımı: Kesme Kalıpları. Birsen Yayınevi, İstanbul.

MAZUR, G. Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ), <http://www.mazur.net/triz> Erişim Tarihi: 20.05.2008.

MEZHOPOĞLU, N. 1995. Ürün Tasarımı ve Geliştirilmesinde Etkin Bir Araç “Montaj İçin Tasarım” Metodolojisi. Mühendis ve Makine, TMMOB Makine Mühendisleri Odası Aylık Yayın Organı, Kasım, Sayı/No:430.

PARLAÇOĞLU, F. 2004. TRIZ’ in Montaj İçin Tasarım (DFA) Alanına Uygulanması. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Bursa.

REVELLE, JACK B., J.W. MORAN and C.A. COX. 1998. The QFD Handbook, John Wiley and Sons, New York, NY.

ROYZEN, Z. 1997. Solving Contradictions in Development of New Generation Products Using TRIZ. <http://www.triz-journal.com/archives/1997/02/b/index.html> Erişim Tarihi: 02.12.2008.

SHIRWAIKER, R. A. A Review on Exposure of TRIZ in Manufacturing Applications. <http://www.engr.psu.edu/Symposium2006/sessions.htm> Erişim Tarihi: 25.11.2008.

ŞAHİN, Ş., F. ÖZTÜRK. 2009. İmalat Süreçlerindeki Problemlere Optimum Çözüm Arama ve Bir Uygulama. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi (yayına kabul edildi, yayınlanma sürecinde), Bursa.

TAŞAN, K. 2006. Bir Risk Değerlendirme ve Güvenilirlik Metodu Olarak Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) Yöntemi: Bir Otomotiv Yan Sanayi İşletmesinde Uygulanması. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Üretim Yönetimi ve Endüstri İşletmeciliği Programı Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

TERNINKO, J., A. ZUSMAN, and B. ZLOTIN. 1998. Systematic Innovation, An Introduction to TRIZ. St Lucie Press, Boca Raton, FL.

YENGİNOL, F. 2002. KOBİ’ ler İçin Uygulanması Kolay Bir Yöntem: Yaratıcı Sorun Çözme Teorisi. 21. Yüzyılda KOBİ’ ler: Sorunlar, Fırsatlar ve Çözüm Önerileri Sempozyumu, 3-4 Ocak, Gazi-Mağusa, Kıbrıs.

YILMAZ, B.S. 2000. Hata Türü ve Etki Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Cilt:2, Sayı:4.

12.Ulusal Kalite Kongresi, 15.10.2003. S.P.A.C., [www.kalder.org/genel/TRIZ\\_SPAC-Bildiri.ppt](http://www.kalder.org/genel/TRIZ_SPAC-Bildiri.ppt) Erişim Tarihi: 08.02.2009.

Anonim 2008. TQ011 Temel FMEA Semineri. Bosch Eğitim Notları.

Anonim 2007. Potansiyel Hata Durumları ve Etkileri Analizi (FMEA). Bureau Veritas Eğitim Notları.

[http://www.triz40.com/aff\\_Matrix.htm](http://www.triz40.com/aff_Matrix.htm) Erişim Tarihi: 25.11.2008.



**ÖZGEÇMİŞ**

Şaban Şahin, 1984 yılında Bursa' da doğdu. Lise eğitimini Bursa Erkek Lisesi' nde (Yab.Dil Ağırlıklı) tamamladı. 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Müh.-Mim. Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü' nde lisans eğitimine başladı ve 2006 yılında bölümünden derece ile mezun oldu. Aynı yıl Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü' nde yüksek lisans eğitimine başladı. Tezin hazırlandığı sıralarda yüksek lisans eğitimini bitirme durumundadır.

**TEŞEKKÜR**

Hayatımın her anında yanımda olan anneme ve babama, çalışma süresince bana her zaman anlayış gösteren biricik kardeşime, tez isminin belirlenmesinden tamamlanmasına kadar bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan değerli hocam Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK' e, bu çalışmanın ortaya çıkmasında yardımlarını esirgemeyen Cafer ATAV, Derya ÖZKAN ve dostum Barış EROLOĞLU' na, çalışmadaki uygulamalar için destek sağlayan Bosch Rexroth ve Akpres firmaları ile çalışanlarına bir kez daha teşekkürlerimi sunarım.