

İMALAT SÜREÇLERİNDEKİ PROBLEMLERE OPTİMUM ÇÖZÜM ARAMA VE BİR UYGULAMA

*Şaban ŞAHİN**
*Ferruh ÖZTÜRK***

Özet: Artan rekabet ortamı ile beraber firmaların, yüksek kalitede ve düşük maliyetli ürün üretmek için tasarım ve imalat süreçlerinde kaynakları en verimli şekilde kullanıp problemlere yaratıcı çözümler bulmaları ve yeni teknikleri kullanmaları gerekmektedir. Klasik yöntemlerin uygulandığı üretim aşamalarında karşılaşılan sınırlamalar teknolojiye dayalı katma değeri yüksek ve rekabet edebilen ürünlerin üretilebilmesi için yeni tekniklerin tasarım ve imalat süreçlerine entegrasyonunu zorunlu kılmaktadır. Son yıllarda tasarım ve imalat süreçlerinde kullanılmaya başlanan TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi) problemlere yaratıcı çözümler geliştirilmesine yardımcı olan bir tekniktir. Bu makalede TRIZ' in imalat sürecinde uygulanması ele alınmış ve sürece etkileri örnek uygulamanın sonuçları ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar TRIZ' in imalat sürecinin optimizasyonunda katkıları olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi), imalat süreci, optimizasyon.

An Optimum Solution for Manufacturing Processes: A Case Study

Abstract: Because of the high competition in design and manufacturing processes, companies must have to use their sources effectively, look for creative solutions to the problems and employ new techniques in order to produce high quality and low-priced products. Due to the obstacles in production processes where classical techniques are used, new techniques have to be integrated to design and manufacturing processes in order to produce competitive and high value added products. TRIZ (Theory of Inventing Problem Solving) is a technique which has been used in manufacturing and design processes in recent years, helps to develop creative solutions to the design and manufacturing problems. In this paper, the implementation of TRIZ is explained and its impacts on the processes are summarized via a practical example in manufacturing industry. The results show that TRIZ plays a significant role in the optimization of manufacturing processes.

Key Words: TRIZ (Theory of Inventing Problem Solving), manufacturing process, optimization.

GİRİŞ

Her alanda büyük bir rekabetin yaşandığı günümüzde, rekabet edebilmek için araştırma ve teknoloji geliştirmeye dayalı bir sanayi yapısı gerekmektedir. Ana hedef, ürün know-how'ına sahip ve uluslararası alanda katma değeri yüksek ürünler ile rekabet eden bir sanayinin oluşturulması olmalıdır. Sanayinin artan rekabet ortamında, rekabetçi ürünler üretebilmesi için tasarım ve imalat süreçlerinde yenilikçi fikirleri ön plana çıkarması ve yeni teknikleri kullanması gerekmektedir. Klasik yöntemlerin uygulandığı üretim aşamalarında karşılaşılan sınırlamalar, teknolojiye dayalı katma değeri yüksek ve rekabet edebilen ürünlerin üretilebilmesi için yeni tekniklerin tasarım ve imalat süreçlerine entegrasyonunu zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle sektör kuruluşlarının tasarım ve imalat süreçlerindeki problemlere optimum çözümler bulup müşteri memnuniyetini sağlamaları, istenen özelliklerde ürünleri en kısa zamanda ve düşük maliyetlerde üretmeleri için gerekli yeni teknikleri kullanmaları ve organizasyon düzenlemelerini yapmaları gerekmektedir.

Tasarım ve imalat süreçlerinde karşılaşılan kısıtlamaları gidermek ve özellikle yenilikçi ürünlerin üretilebilmesi çalışmalarında yardımcı olacak yeni yöntemler çeşitli sektör kuruluşlarında uygu-

* Bosch-Rexroth, 16159, Nilüfer, Bursa.

** Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059 Görükle, Bursa.

lanmaya başlamıştır. Son yıllarda tasarım ve imalat süreçlerinde kullanılmaya başlanan TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi) problemlere yaratıcı çözümler geliştirilmesine yardımcı olan bir tekniktir.

Tam zamanında üretim, yalın üretim ve esnek üretim gibi üretim yaklaşımlarının ortaya çıkması ve kalite kavramının gelişmesi, bu alanlarda yapılan çalışmalara ilgiyi artırmıştır. Firmalar üretim yapmak ve üretimini her geçen gün daha verimli ve kaliteli duruma getirmek zorundadır. Bunun gerçekleşmesi için yeni problem çözüm ve optimizasyon teknikleri denenmekte ve akademik alanda üretim süreçlerindeki optimizasyonların sağlanması için yapılan çalışmalar artmaktadır. Yapılan çalışmalarda kullanılan optimizasyon tekniklerinden biri de TRIZ'dir. Özellikle son yıllarda TRIZ' in imalat ve kalite alanlarındaki uygulanabilirliği ile ilgili yapılan çalışmalar artmıştır. Shirwaiker (2006), TRIZ metodolojisinin imalat alanıyla uygulandığı örnek çalışmaları anlatmıştır. TRIZ her ne kadar genelde tasarım ya da ürün geliştirmede kullanılsa da Shirwaiker verdiği TRIZ imalat uygulamaları ile yöntemin endüstrideki imalat problemlerine uygulanabileceğini göstermiştir. Bligh (2006), TRIZ ve yalın üretim arasındaki ilişkiyi incelemiştir. TRIZ ve yalın düşünce arasındaki ilişkiyi anlatmış, TRIZ' in yalın düşüncede kullanılabilirliğini ve ürünlerin ya da şirketlerin geliştirilme süreçlerinde iki yöntemin birlikte yararlı olabileceklerini söylemiştir. Feo ve Bar-El (2002), yaptıkları çalışmada 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 (2002), TRIZ metodolojisini, Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmelerin (KOBİ) teknik sorunlarını çözmelerinde ve yenilik yapmalarında uygulayabilecekleri ve bazı maliyetlerinden kurtulabilecekleri bir yöntem olarak tanıtmıştır. KOBİ' lerin yenilikçi olmak konusunda çeşitli avantajlara sahip olduklarını, TRIZ metodunun öğrenilip uygulandığında ilerlemede daha uygun bir ortam olacağından bahsetmiştir. Kapucu ve diğ.(2001), Toplam Kalite Yönetimi uygulamalarında çözülmesi zor olan sorunlar için, bir çözüm tekniği olarak TRIZ' in kullanılabilirliğini anlatmıştır. Toplam Kalite Yönetimi felsefesinin sürekli iyileştirmeyi hedeflediğini, bu felsefeyi uygulayan işletmelerin yenilikçilik ve yaratıcılık gerektiren problemlerde TRIZ metodundan faydalanabileceklerini anlatmışlardır.

Firmalar tasarım ve imalat süreçlerindeki problemlere eldeki verileri optimal kullanıp düşük maliyetli çözümler geliştirmelidirler. Rekabet gücünü artırabilmeleri ürün ve hizmet kalitelerini arttırmalarına bağlıdır. Bu makalede TRIZ' in imalat sürecinde uygulanması ele alınmış ve sürecin optimizasyonuna etkileri örnek uygulamanın sonuçları ile değerlendirilmiştir.

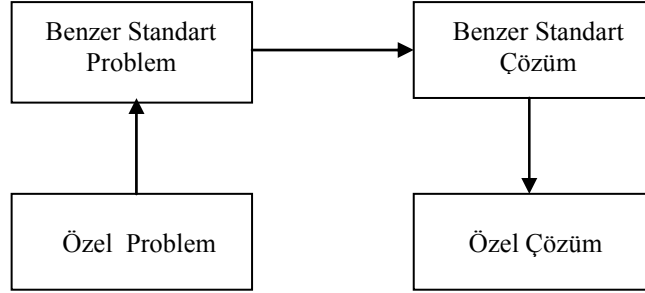
Günümüzde firmalar problemleri oluşmadan çözmek için arayış içindedirler. Klasik deneme yanılma metodunun yanında Hata Modu ve Etkileri Analizi (FMEA; Failure Mode and Effect Analysis), Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD; Quality Function Deployment), Altı Sigma (Six Sigma), Aksiyomatik Tasarım (Axiomatic Design) ve Üretim İçin Tasarım (DFM; Design for Manufacturing) gibi olası tasarım ve üretim problemlerini saptayıp, problem ortaya çıkmadan çözüm yolları arayan teknikler mevcuttur. Saydığımız bu tekniklerin ortak amacı tasarım ve üretim süreçlerinde ileride oluşabilecek potansiyel hataları saptayıp, olası problemlere çözüm yolları aramaktır. Fakat bu teknikler temelde beyin fırtınası tekniğini kullanarak problemlere çözüm ararlar. Beyin fırtınası tekniğinde ilgililenilen konuya hakim kişiler bir araya gelerek konu hakkında fikir alışverişinde bulunurlar. Farklı departmanlardan ve farklı tecrübelerine sahip katılımcıların oluşturduğu ekip ile problemlerin oluşmadan önlenmesi ya da meydana gelmiş bir sorunun bir daha tekrar etmemesi için çözümler üretilir. Firma çalışanlarının sık sık bir araya gelmesi problemlerin çözümü için avantaj yaratırken, oldukça zaman alıcı ve maliyetli olabilmektedir. TRIZ ve saydığımız problem çözme tekniklerinin ortak yönleri hatalara ve olası problemlere optimum çözüm aramaları, anlaşılması ve uygulanabilirliklerinin kolay olmasıdır. Diğer tekniklerde problemlere çözüm arama aşamasında ekip çalışması daha yoğunken, TRIZ birtakım teknikleri ve bilgileri kullanmamızı sağlayarak bireysel olarak yaratıcılık yeteneğimizin gelişmesini sağlamakta ve problemlere çözüm ararken yaratıcılığı da desteklemektedir.

2. TRIZ (YARATICI PROBLEM ÇÖZME TEORİSİ)

TRIZ, 1946 yılında Sovyetler Birliği'nde Genrich Saulovich Altshuller tarafından geliştirilmiştir (Altshuller, 1996). TRIZ problemlere sistematik yolla yaklaşan, problemlere yaratıcı çözümler sunan bir problem çözme tekniğidir.

İngilizce'de "Theory of Inventing Problem Solving" olarak geçen metodun Türkçe'deki karşılığı "Yaratıcı Problem Çözme Teorisi" olarak geçmektedir. Altshuller yaklaşık 200000 patenti incele-

miş, sorunlara yaratıcı çözümler bulmaya çalışmıştır. Günümüzde incelenen patent sayısı 1500000 gibi büyük rakamlara ulaşmıştır. Altshuller yapmış olduğu bu çalışmalar sonucunda incelediği bu patentlerden yaklaşık 40000 tanesinin yaratıcı çözümler olduğunu, diğerlerinin birbirlerinin iyileştirmesi, bir başka deyişle zaman içinde sistemlerin gelişimi olduğunu görmüştür. Ayrıca yaptığı araştırmalarda ulaştığı bir başka sonuç da bir sistemde bir iyileştirme yapıldığında sistemin diğer parçalarında bir kötüleşme olduğudur. Buradan sistemdeki problemlerin var olan bu çelişkilerin ortadan kaldırılmasıyla giderileceğini söylemiştir.



Şekil 1:

TRIZ sorun çözme metodu (<http://www.mazur.net/triz>, 2008)

TRIZ metodu ile özel bir problemimizin çözümü genele uyarlanarak var olan çözüm yolları araştırılıp, çelişkilerin ortadan kaldırılmasıyla problemimiz için aradığımız özel çözüm elde edilir (Şekil-1).

TRIZ yönteminin temelini çelişkiler oluşturmaktadır. Amaç çelişkilerin ortadan kaldırılıp, sistematik yollarla çözüme ulaşılmasıdır.

TRIZ' in teorisi üç temelden oluşur (Terninko ve diğ., 1998):

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

Burada ifade edilen ideal sistem; “Mekanizmanın olmadığı fakat mekanizmanın yerine getirmesi gereken fonksiyonun var olduğu sistemdir” (ReVelle ve diğ., 1998).

2.1. İdeal Sistem ve Çelişkiler

Müşterilerin tüm isteklerini sıfır maliyet ve sıfır zararlı etki ile gerçekleştiren sistem “mükemmel sistem”dir ve bu şartlar ile “ideal çözüm”e ulaşılmış olur.

İdeal çözüme ulaşmak için de kaynakların iyi ve etkili bir biçimde kullanılması gerekmektedir. Bu kaynaklar enerji, malzeme, hava, sıcaklık ve yer çekimi gibi sistemin kendisinde veya çevresinde kolayca bulunabilecek şeylerdir. Mükemmelliği (1) deki formüldeki gibi ifade edebiliriz:

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

Y_i : Sistemin Yararlı Etkilerinin Toplamı, Z_j : Sistemin Zararlı Etkilerinin Toplamı

İstenilen ideal çözüme de kaynaklardan en yüksek derecede faydalanarak ve çelişkileri ortadan kaldırarak ulaşabiliriz.

Altshuller çelişkiyi şu şekilde tanımlamıştır: “Sistemin bir niteliğini iyileştirmek için yapılan girişimin, sistemin diğer bir niteliğinin değerini düşürmesidir” (Terninko ve diğ., 1998). Altshuller yaptığı patent incelemelerinde bu çelişkileri sınıflandırmış ve 39 adet mühendislik değişkenini belirlemiştir. TRIZ Mühendislik Değişkenleri *Tablo-1* de gösterilmiştir.

Tablo I.
TRIZ Mühendislik Değişkenleri (Terninko ve diğ., 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. Dayanım	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	

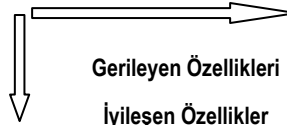
Altshuller, belirlediği bu mühendislik değişkenlerinin de 40 adet yaratıcı çözüm ile ortadan kaldırılabileceğini söylemiştir. TRIZ yaratıcı prensipler *Tablo-II* de yer almaktadır.

Tablo II.
TRIZ Yaratıcı Prensipler (Terninko ve diğ. 1998).

1. Bölümlenme	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 Nesneler
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

Altshuller, yukarıdaki tablolarda verilen 39 adet mühendislik değişkeni ile 40 yaratıcı prensibi bir matrise taşıyıp “Çelişkiler Matrisi”ni oluşturmuştur. Mühendislik değişkenlerini yatay ve dikey sütunlara taşımış ve çelişkilerin kesiştiği kutulara da 40 adet yaratıcı prensipten önerdiklerini yerleştirmiştir. Çelişkiler matrisinin bir bölümü *Tablo-III* de gösterilmektedir.

Tablo III.
Çelişkiler Matrisinin Bir Kısmı (http://www.triz40.com/aff_Matrix.htm, 2008)

		Hareketli Nesnenin Ağırlığı	Sabit Nesnenin Ağırlığı	Hareketli Nesnenin Uzunluğu	Sabit Nesnenin Uzunluğu	...	Verimlilik
		1	2	3	4	...	39
1	Hareketli Nesnenin Ağırlığı	+	-	15,8,29,34	-	...	35,3,24,37
2	Sabit Nesnenin Ağırlığı	-	+	-	10,1,29,35	...	1,28,15,35
3	Hareketli Nesnenin Uzunluğu	8,15,29,34	-	+	-	...	14,4,28,29
4	Sabit Nesnenin Uzunluğu	-	35,28,40,29	-	+	...	30,14,7,26
...
39	Verimlilik	35,26,24,37	28,27,15,3	18,4,28,38	30,7,14,26	...	+

3. TRIZ İMALAT UYGULAMASI

Firmaların rekabet edebilmeleri için ürünlerini hızlı ve kaliteli bir biçimde müşterilerine iletmeleri gerekmektedir. Bu nedenle, kaliteli ve düşük maliyetli ürün üretmek için imalat, tasarım ve montaj operasyonlarında problemlere akılcı çözümler bulmak, tasarım, imalat ve montaj çevrim zamanlarını en aza indirmek için çalışmalar yapmaktadırlar. Ürünlerini düşük maliyet ve kısa sürede müşterilerine ulaştırmak için, organizasyon yapılarında, tasarım ve imalat süreçlerinde, lojistik ve mevcut yönetim aşamalarında değişime gitmektedirler.

TRIZ yöntemi problemlere sistematik yaklaşmayı, kişisel olarak yenilikçi ve yaratıcılığın gelişmesini sağlayan problem çözme tekniğidir. Yaratıcı Problem Çözme Teorisi (TRIZ) ile problemlere yaratıcı çözümler bulunmakta, tasarım ve imalat süreçlerindeki optimizasyon sağlanmaktadır.

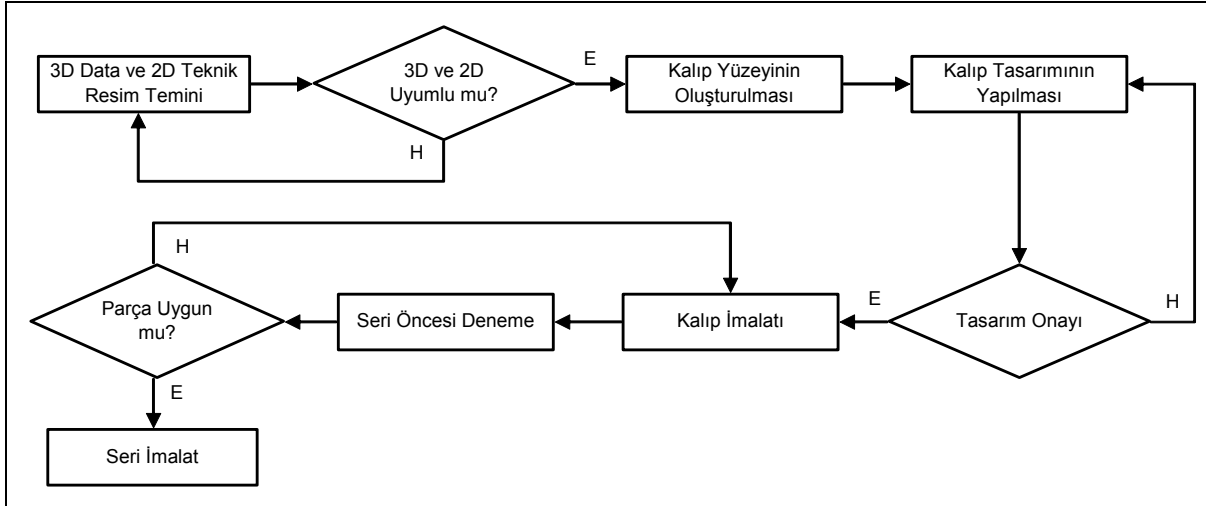
3.1. Kalıp İmalat Süreci

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) verilerini 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* deki gibidir.

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

Metal Kalıpçılığı’nda talaş kaldırmadan ya da talaş kaldırarak üretim yapılırken, hacim kalıpçılığında ise metal veya metal dışı malzemelerin ergitilerek kalıp boşluğuna doldurulması sonucu üretim gerçekleştirilir.



Şekil 2:
Temel Kalıp İmalat Adımları

3.2. TRIZ' in İmalat Problemine Uygulanması

Plastik şekil verme ile imal edilecek parçanın üretimini gerçekleştirecek firma, toplam işçilik maliyetini azaltarak maddi kazanç ve toplam imalat süresini kısaltarak imalat kapasitesinde artış sağlamak için plastik şekil verme prosesinde iyileştirmeye gitmek istemektedir.

Yapılması planlanan imalat optimizasyonunda, 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, kullanımını, 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 istediğimiz özellikler mühendislik değişkenlerini oluşturmaktadır ve istenilen özelliklerin aynı anda bulunması çelişkiler meydana getirebilmektedir. Örneğin kullanılabilirliği ya da tamir edilebilirliği kolay olan bir kalıbın üretilebilirliği zor olabilir. TRIZ metodunun en önemli özelliği, var olan çelişkileri ortadan kaldırarak problemlere yaratıcı çözüm yolları önermektir. Yeni tasarlanacak imalat sürecinde çelişkileri ortadan kaldırmak için ilk adım olarak, *Tablo-I* yardımıyla mühendislik değişkenleri belirlenir. Bunlar;

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

Mühendislik değişkenleri belirlendikten sonra, örnek uygulama için oluşturulacak *Çelişkiler Matrisi*'ne taşınır. Mühendislik değişkenlerinin aralarındaki çelişki durumları belirlenerek, TRIZ çelişkiler matrisinden (bkz. *Tablo-III*) yaratıcı prensipler alınıp *Çelişkiler Matrisi* oluşturulur. Örnek uygulama için oluşturulan *Çelişkiler Matrisi* ve çelişen mühendislik parametreleri için yaratıcı prensipler *Tablo-IV* de görülmektedir. Örnek uygulama için oluşturulan *Çelişkiler Matrisi*'ndeki iki mühendislik değişkeninin aralarındaki çelişkiyi örnek ile açıklayalım:

Yeni tasarlanacak kalıbın *Tamir Edilebilirliğinin* (34) en aza indirilmesi istendiğinde, zaman kaybını en aza indirecek şekilde tasarlanan kalıbın *Üretilebilirliği* (32) zor olabilir ve çelişki meydana gelir. Yapılması gereken kalıbın bakım ve onarım özelliğini iyileştirirken, üretilebilirliği de kolaylaştırmaktır. Bunun için yaratıcı prensipler ve kaynaklardan faydalanıp çelişkiler ortadan kaldırılarak ideal çözüme ulaşılmaya çalışılır. Benzer şekilde mühendislik değişkenlerinin her biri için aralarındaki ilişkilere bakılıp oluşabilecek çelişkiler saptanır ve yaratıcı prensipler çelişkiler matrisine taşınır.

Tablo IV.
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		-	2,5,12	-	-	-
34- Tamir Edilebilirlik	-	32,1,10,25	1,35,11,10	-	-	-
37- Kontrol Karmaşıklığı	-	-	5,28,11,29	-	-	-

Mühendislik parametreleri çelişkiler matrisine taşındıktan sonra, ikinci adım olarak yaratıcı prensiplerin yorumlanması yapılır. *Tamir Edilebilirlik (34) x Üretilebilirlik (32)* mühendislik parametrelerini ele alalım. *Tablo-IV* deki uygulama için hazırlanan çelişkiler matrisi yardımıyla yaratıcı prensipler bulunur ve *Tablo-II* de rakamların karşılıklarına bakılır. *Tamir Edilebilirlik (34) x Üretilebilirlik (32)* mühendislik parametreleri için;

1: Bölümlenme

35: Fiziksel ve Kimyasal Durum Değişikliği

11: Önceden Güvenilirliği Sağlama

10: Başlangıçta Eylemli

prensipleri bulunur. Bu prensiplerden 1-Bölümlenme prensibi yeni tasarlanacak kalıbın iki kısma ayrılabilirliğini akla getirmektedir. *Tablo-IV* de yer alan diğer çelişkiler için önerilen prensipler incelendiğinde aşağıdaki prensiplerin yeni kalıp tasarımına etkisi olmuştur:

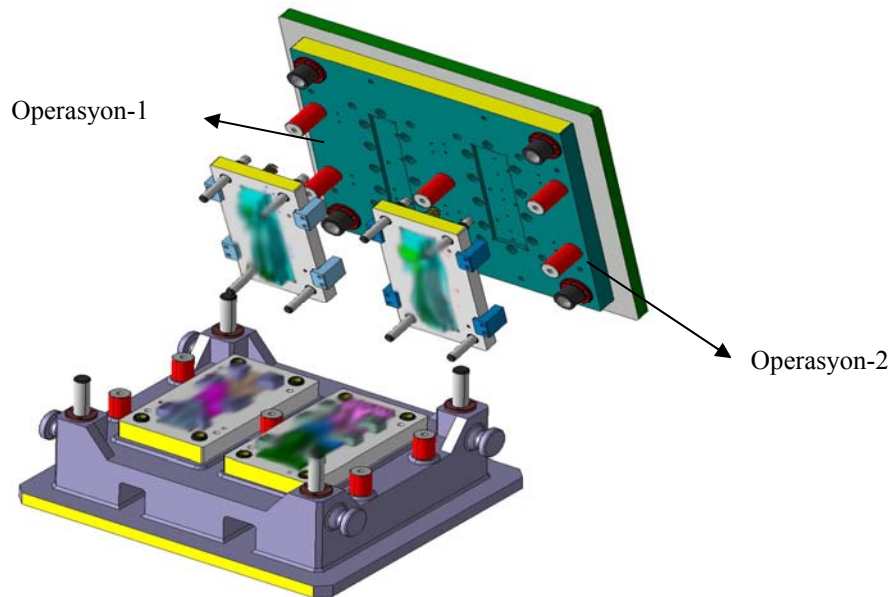
1: Bölümlenme

5: Birleştirme

10:Başlangıçta Eylemli

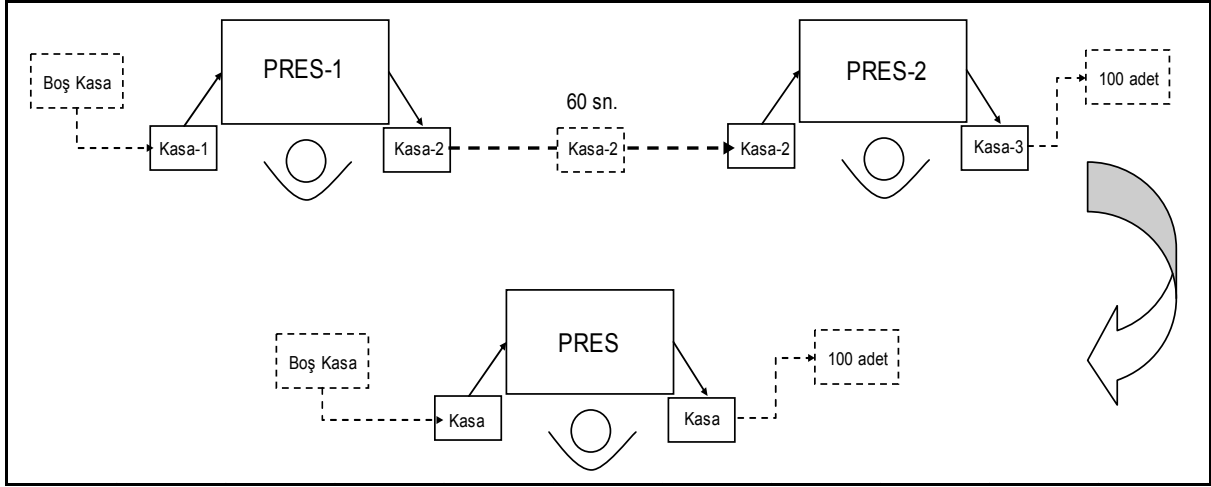
14: Küresellik

Birleştirme-5 fikri iki farklı şekillendirme adımının aynı kalıpta toplanması fikrini oluşturmuş, Bölümlenme-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 mertebeye köşeler yuvarlatılmıştır. Şekil-3 de iki farklı operasyonun tek adıma indirgenmesinde tasarlanan kalıp görülmektedir.



Şekil 3:
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 4:
İki Farklı Şekillendirme Durumu

İlk imalat sürecinde, ilk preste şekillendirilen parçalar 100 adetlik taşıma kasaları dolduğunda diğer şekillendirme operasyonu için farklı mesafedeki 2. preste taşınmaktadırlar. Taşıma esnasında 60 sn. lik zaman kaybı yaşanmakta ve taşıma için kişi/araç temini gerekmektedir. Şekil-4 de eski ve yeni durumdaki operasyon akışı görülmektedir. Yeni tasarlanan imalat süreci ile iki farklı operasyon adımı tek kalıpta toplandığından, presler arası taşıma ortadan kaldırılmış ve taşıma süresi minimize edilmiştir.

3.3. TRIZ' in İmalat Sürecine Etkileri

Yeni ve eski durumun imalat sürecine yansımaları ve optimizasyon sonucunda elde edilecek 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 V.
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-V* 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.

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

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

Toplam Pres Süresi (T_{ilk})

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

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

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

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

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

sonuçta;

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

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;

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

olur. Sonuçta;

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

olarak bulunur.

Yeni İmalat Süreci:

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

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

$$T_{son} = t_s \quad (12)$$

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

olarak bulunur.

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

(12) yerine konursa;

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

Kazançların Hesaplanması

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

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

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

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

bulunur.

2) Gerekli İşgücünden elde edilen kazanç “ M_k ”;

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

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

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

bulunur.

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

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

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

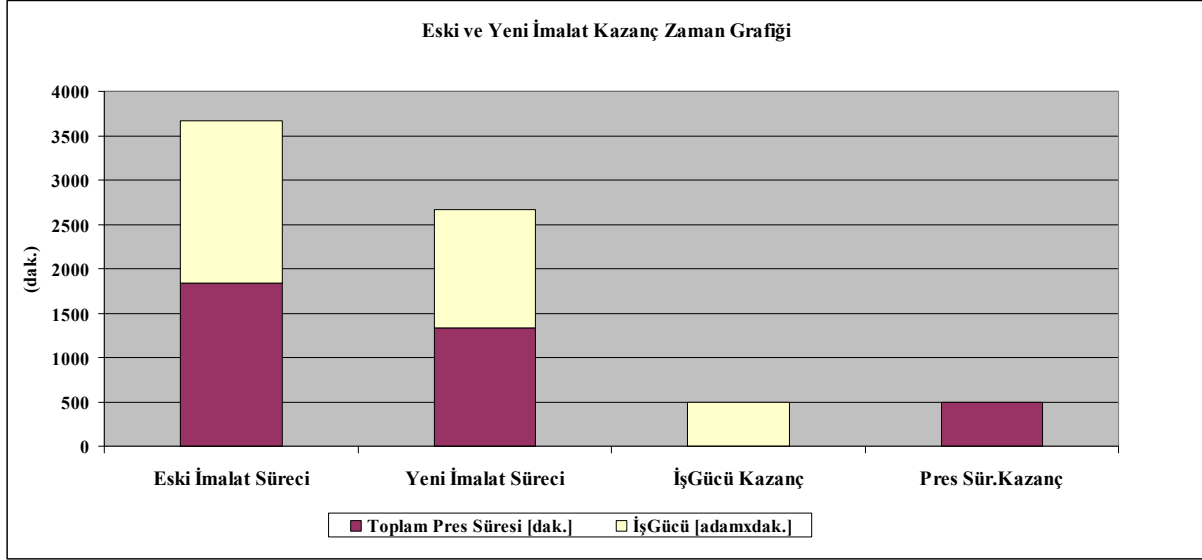
Toplam pres süresinden elde edilen kazanç “ T_k ” ve işgücünden elde edilen kazanç “ M_k ” hesaplanmıştı. Sayısal örnek olarak 10000 adetlik siparişten elde edilen kazanç zamanlar;

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

$$M_k = N \left(\frac{c_1 \times p_1}{m_1} + \frac{c_2 \times p_2}{m_2} - \frac{c_s \times p_s}{m_s} \right) = 10000 \left(\frac{12 \times 1}{2} + \frac{10 \times 1}{2} - \frac{16 \times 1}{2} \right) = 30000 \text{ [adam x}$$

sn.] = 500 [adam x dak.] = 8,34 [adam x saat]

olarak bulunur.



Şekil 5:
Örnek Üretim Miktarı İçin Kazançların Karşılaştırılması

Şekil-5 de 10000 adetlik örnek üretim miktarı için pres süresi ve işgücünden elde edilen kazanç grafiksel olarak gösterilmektedir. Yeni imalat sürecinde toplam zamanda yaklaşık % 27 lik azalma meydana gelmektedir.

3.3.1. 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-VI da gösterilmiştir.

Tablo VI.
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. Pres ve kalıp sayısının yarıya düşmesi operatör sayısının da 2'den 1'e düşmesini sağlamış ve diğer operatörün başka bir alanda kullanılması sağlanmıştır. İlk durumda birbirini takip eden iki operasyon için var olan presler arası 60 saniyelik taşıma süresi, iki operasyonun aynı kalıpta toplanması ile ortadan kaldırılmıştır. Çevrim süresi azaltılarak müşteri talebine daha çabuk cevap verilebilir duruma gelinmiştir.

Örnek optimizasyon çalışmasından görüldüğü gibi TRIZ yöntemi problemlere yaratıcı çözümler bulan, problemlere sistematik şekilde yaklaşan ve yaratıcılığı destekleyen problem çözme tekniğidir. Önerdiği yaratıcı çözümler ile geliştirilecek tasarımlar, ürünler vs. kişiden kişiye değişebilir. TRIZ, problem çözümlere problemin çözümünde nasıl yol izleyeceklerini gösterir. TRIZ' in yaratıcı prensipleri ile kişinin elindeki parametrelere ve isteklere göre nasıl bir çözüm bulacağı değişkendir.

4. SONUÇLAR

Bu makalede TRIZ' in imalat sürecinde uygulanması ele alınmış ve sürece etkileri örnek uygulamanın sonuçları ile değerlendirilmiştir. TRIZ tekniği firmada istenen sonucu günün şartları için sağlamış ve eldeki verilere göre optimum çözümün bulunmasına yardımcı olmuştur. Sonuçlar TRIZ' in imalat sürecinin optimizasyonunda katkıları olabileceğini göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Çalışmayı destekleyen ve gerekli dataları sağlayan Ak-Pres firmasına, çalışanlarına ve Sn. Sercan SEROL'a verdikleri destek için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Altshuller, G., Çeviren: Dr. Bülent Akat (2007) TRIZ Yaratıcı Problem Çözme Kuramı, Elma Yayınevi, İstanbul.
2. Bligh, A. (2006) The Overlap Between TRIZ and Lean. IME 552: Lean Manufacturing Systems, University of Rhode Island.
3. Feo, J.A. and Bar-El, Z. (2002) Creating strategic change more efficiently with a new Design for Six Sigma Process, Journal of Engineering Design, 15, 405-424.
4. Kapucu, S., Baykasoğlu, A. ve Dereli, T. (2001) Toplam Kalite Yönetimi Uygulamalarında Kullanmak İçin Yenilikçi-Yaratıcı Problem Çözme Yaklaşımı: TRIZ. TMMOB Makine Mühendisleri Odası II. Kalite Sempozyumu, 15-16 Haziran 2001, Bursa.
5. Kurt, H. (2002) Kalıpcılık Tekniği ve Tasarımı: Kesme Kalıpları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
6. Mazur G., Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ), <http://www.mazur.net/triz> (25.11.2008)
7. ReVelle, J.B., Moran, J.W. and Cox, C.A. (1998) The QFD Handbook, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.
8. Shirwaiker, Rohan A. (2006) A Review on Exposure of TRIZ in Manufacturing Applications, <http://www.engr.psu.edu/Symposium2006/sessions.htm> (25.11.2008).
9. Terninko, J., Zusman, A. and Zlotin, B. (1998) Systematic Innovation, An Introduction to TRIZ, St Lucie Press, Boca Raton, FL.
10. Yenginol, 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 2002, Gazi-Mağusa, Kıbrıs.
11. http://www.triz40.com/aff_Matrix.htm (25.11.2008)

Makale 03.12.2008 tarihinde alınmış, 10.02.2009 tarihinde düzeltilmiş, 27.02.2009 tarihinde kabul edilmiştir. İletişim Yazarı: F. Öztürk (ferruh@uludag.edu.tr).