İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİK ÜRÜN GELİŞTİRMEDE KFG VE TRIZ METODOLOJİLERİNİN UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. ve Malz. Müh. Erhan ERYURT

Anabilim Dalı: Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Programı: Malzeme Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yılmaz TAPTIK

EKİM 2005

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİK ÜRÜN GELİŞTİRMEDE KFG VE TRIZ METODOLOJİLERİNİN UYGULANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. ve Malz. Müh. Erhan ERYURT

Enstitü No: 506021109

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26 Eylül 2005

Tezin Savunulduğu Tarih: 9 Ekim 2005

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yılmaz TAPTIK
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Ahmet TOPUZ
Doç. Dr. Gültekin GÖLLER

EKİM 2005

ÖNSÖZ

Yaratıcılık ve inovasyon kavramlarını bilimsel açıdan incelememi sağlayan ve lisans öğrenimim sırasında aldığım Toplam Kalite Yönetimi dersinden beri benden hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Yılmaz Taptık'a, teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında, son derece yoğun iş tempoları içerisinde, sabır ile bana yardımcı olan Assan personeline ve özellikle Sayın Özgül Keleş, Sayın Murat Dündar ve Sayın Hüsnü Öztürk'e sonsuz teşekkürler.

Deneyin en kritik parçası olan karıştırıcının kaplamasını, tez çalışması olduğu için ücretsiz olarak yapan Senkron Metal çalışanlarından Sayın Muharrem Ar ve Sayın Rıfat Tunçer'e minnettarım.

Yoğun sıvı mekaniği ve genel makine mühendisliği bilgisi gerektiren konularda bana yardımcı olan H. Cem Çıtak ve Gökçe Altay'a çok teşekkür ederim.

Aileme, her zaman yanımda oldukları ve beni daima destekledikleri için, teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, sevgili Özlem Yüksel'e, tez çalışmam ve iş hayatım sırasında çektiğim zorlukları benimle paylaştığı için, sonsuz teşekkürler.

Mayıs, 2005 Metalurji ve Malzeme Mühendisi Erhan ERYURT

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ **v**

ŞEKİL LİSTESİ **vi**

ÖZET **viii**

SUMMARY **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. TEORİ VE ALT YAPI BİLGİSİ **2**

2.1. Kalite Fonksiyonları Geliştirme Tekniği (QFD) 2
2.1.1. Tanım 2
2.1.2. Tarihçe 2
2.1.3. Kano Modeli 2
2.1.4. Kalite Evi'nin Temel Yaklaşımı 4
2.1.4.1. 1. Kalite Evi: Ürün Matrisi 5
2.1.4.2. 2. Kalite Evi: Bileşen Matrisi 6
2.1.4.3. 3. Kalite Evi: Proses Matrisi 6
2.1.4.4. 4. Kalite Evi: Üretim Matrisi 7
2.1.5. KFG – Genel Perspektif 7
2.1.6. KFG – Avantaj ve Dezavantajlar 8
2.1.7. KFG ve TRIZ 10
2.2. Yaratıcı Problem Çözme Tekniği (TRIZ) 12
2.2.1. Tanım 12
2.2.2. Tarihçe 13
2.2.3. Genel Kavramlar 14
2.2.4. Çözümlerin sınıflandırılması 16
2.2.5. TRIZ Araçları 17
2.2.5.1. 40 Buluşçu Prensip 17
2.2.5.2. En Sık Kullanılan 5 Prensip 27
2.2.5.3. 39 Mühendislik Paremetresi 28
2.2.5.4. Madde – Alan Analizi 31
2.2.5.5. 76 Standart Çözüm 33
2.2.5.6. Teknolojik Evrim ve Patent Araştırması 34
2.2.6. ARIZ 36
2.2.6.1. Sorunun Analiz edilmesi 36
2.2.6.2. Problemin Modelinin Analizi 37
2.2.6.3. Mükemmel Nihai Çözüm ve Fiziksel Çelişkilerin Belirlenmesi 37
2.2.6.4. Madde Alan Çerçevesindeki Kaynakların Kullanımı 37
2.2.6.5. Bilgi Kaynaklarının Kullanımı 37
2.2.6.6. Sorunun Revize Edilmesi 37
2.2.6.7. Çelişkinin Ortadan Kaldırılması 38
2.2.6.8. Elde Edilen Çözümün Uygulanması 38

2.2.6.9. Çözüm Sürecinin Analizi 38
2.2.6.10. ARIZ sonuç 38
2.3. İkiz Merdaneli Döküm ve Tane İncelticiler 38
2.3.1. İkiz Merdaneli Döküm Teknolojisi 38
2.3.2. Tane incelticilerin etkisi 40
2.3.2.1. Tane inceltme teorileri 42
2.3.2.2. Çekirdek Büyümesinin sınırlandırılması 44
2.3.2.3. Etkileşim zamanı ve tane incelticinin etkisizleşmesi 44
2.3.2.4. Aglomerasyon 45
2.3.2.5. Tane incelticilerin üretiminde kullanılan maddelerin etkisi 45
2.3.2.6. Karıştırmanın Etkisi 46

3. UYGULAMA VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR 47

3.1. KFG'nin Folyo Üretimi için Uygulanması 47
3.2. TRIZ Uygulaması 48
3.2.1. Teknik Sistemin Belirlenmesi 48
3.2.2. Teknik Prosesin Belirlenmesi 49
3.2.3. Çelişkinin Belirlenmesi 50
3.2.4. İdeal Durumun Belirlenmesi 52
3.2.4.1. Yaklaşım 1 52
3.2.4.2. Yaklaşım 2 52
3.2.5. Prensiplerin Yorumlanması 52
3.2.6. Karıştırıcı Tasarımı 56
3.2.6.1. Karıştırıcı Başlığının Tasarımı 57
3.2.6.2. Karıştırıcıların Kaplanması 63
3.3. Ön Numunelerin İncelenmesi 64
3.3.1. Al-Ti-B Tane İncelticisi 64
3.3.2. Al-Ti-C Tane İncelticisi 66
3.3.3. Topaklanan Partikül 67
3.3.4. Nihai Tane Boyutları 68
3.4. Deneysel Çalışma 69
3.4.1. Deney öncesi numuneler 69
3.4.2. Deneyin gerçekleştirilmesi 70

SONUÇLAR VE TARTIŞMA 74

KAYNAKLAR 78

EKLER

EK A. KFG Evleri 81

EK B. Karıştırıcı Çizimleri 84

EK C. Ön İnceleme Sırasında Analiz Edilen Numuneler 87

EK D. Deney resimleri 101

ÖZGEÇMİŞ 104

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1	KFG'nin Bazı Ülkelerde Kullanımı.....	7
Tablo 2.2	KFG ve TRIZ'in Etkileşimi.....	11
Tablo 2.3	40 Buluşçu Prensip.....	18
Tablo 2.4	Prensiplerin kullanım sıklıklarındaki değişimin karşılaştırılması..	26
Tablo 2.5	39 Mühendislik Parametresi.....	29
Tablo 2.6	39 Mühendislik Parametresinin Bir Kısmının Matris Gösterimi...	30
Tablo 3.1	Deney verileri.....	72
Tablo 3.2	İkiz merdanelere yakın alınan numunelerin Ti oranları.....	73

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	: Kano Modeli	3
Şekil 2.2	: KFG Süreci	4
Şekil 2.3	: Ürün Matrisi: Genel ve Teknik Gösterim	5
Şekil 2.4	: Klasik Tasarım Süreci	10
Şekil 2.5	: KFG'nin Korelasyon Matrisi ile TRIZ'in Çelişkiler Matrisi	11
Şekil 2.6	: TRIZ'in problem çözme metodolojisi	15
Şekil 2.7	: Teknolojik Evrim	15
Şekil 2.8	: Mühendislik çözümlerinin yüzde dağılımları	17
Şekil 2.9	: Basit Madde-Alan gösterimleri	31
Şekil 2.10	: Madde-Alan analizinde kullanılan gösterim	32
Şekil 2.11	: Çekiç-Taş örneği için Madde-Alan gösterimi	33
Şekil 2.12	: Hava Çekiç Örneği İçin zararlı Fonksiyonların Gösterimine Örnek	33
Şekil 2.13	: Gaz türbin fanları için teknolojik evrim	35
Şekil 2.14	: "Dinamiklik" için evrim şekli	36
Şekil 2.15	: Tane inceltici kullanılmadığında, ikiz merdanelerdeki katılaşma şekli	39
Şekil 2.16	: Tane inceltici kullanıldığında, ikiz merdanelerdeki katılaşma şekli	39
Şekil 2.17	: TEM incelemesinde (0001) yüzeyi TiAl3 kaplı TiB2 partikülünde katılaşan α-Al	43
Şekil 2.18	: (0001) yüzeyindeki katılaşmanın şematik gösterimi	43
Şekil 2.19	: Tane boytunun tutma zamanı ile olan ilişkisi	44
Şekil 2.20	: Karıştırmanın etkisi	46
Şekil 3.1	: Teknik Sistem	49
Şekil 3.2	: fy-Gem çalışmasında kullanılan başlıklar	55
Şekil 3.3	: Teknik Sistemin revize edilmiş hali	58
Şekil 3.4	: Eksenel (axial) karıştırıcıların akış yönlendirme şekli	60
Şekil 3.5	: Bazı eksenel (axial) karıştırıcılar	60
Şekil 3.6	: Yüksek viskoziteli akışkanlarda kullanılan karıştırıcı türlerinden bazıları	62
Şekil 3.7	: İmal edilen karıştırcılar	63
Şekil 3.8	: Al-%5Ti-%0.1B numunesinde enine kesitten çekilen SEM görüntüsü	65
Şekil 3.9	: Al-%5Ti-%0.2B numunesinde enine kesitten çekilen SEM görüntüsü	65
Şekil 3.10	: Al-%5Ti-%0.2C numunesinde enine kesitten çekilen SEM görüntüsü	66
Şekil 3.11	: 8006 mutfak folyosu nihai tane boyutu	68
Şekil 3.12	: Farklı oranlarda TiBor ile tane boyutları	68
Şekil 3.13	: Sadece numune alımı sırasında gerçekleşen karıştırmanın etkisi	69
Şekil 3.14	: Deney verilerinin grafiksel gösterimi	73

Şekil A.1 : 1. Kalite Evi..... 81
Şekil A.2 : 2. Kalite Evi..... 82
Şekil A.3 : 3. Kalite Evi..... 83
Şekil B.1 : Karıştırıcı 1..... 84
Şekil B.2 : Karıştırıcı 2..... 85
Şekil B.3 : Karıştırıcı 3..... 86
Şekil C.1 : Al -%5Ti - %0.1B Numunesi EDS Analizi (1)..... 87
Şekil C.2 : Al -%5Ti - %0.1B Numunesi EDS Analizi (2)..... 88
Şekil C.3 : Al -%5Ti - %0.2B Numunesi EDS Analizi (1)..... 89
Şekil C.4 : Al -%5Ti - %0.2B Numunesi EDS Analizi (2)..... 90
Şekil C.5 : Al -%5Ti - %0.2C Numunesi EDS Analizi (1)..... 91
Şekil C.6 : Al -%5Ti - %0.2C Numunesi EDS Analizi (2)..... 92
Şekil C.7 : Al -%5Ti - %0.2C Numunesi EDS Analizi (1)..... 93
Şekil C.8 : Al -%5Ti - %0.2C Numunesi EDS Analizi (2)..... 94
Şekil C.9 : Al -%5Ti - %0.1C Numunesi EDS Analizi (1)..... 95
Şekil C.10 : Al -%5Ti - %0.1C Numunesi EDS Analizi (2)..... 96
Şekil C.11 : Topaklanma Numunesi EDS Analizi (1)..... 97
Şekil C.12 : Topaklanma Numunesi EDS Analizi (2)..... 98
Şekil C.13 : Topaklanma Numunesi EDS Analizi (3)..... 99
Şekil C.14 : Topaklanma Numunesi EDS Analizi (4)..... 100
Şekil D.1 : 1. Deney Düzeneği..... 101
Şekil D.2 : 2. Deney Düzeneği..... 102
Şekil D.3 : Çalışır Durumdaki Düzenek..... 103

METALURJİK ÜRÜN GELİŞTİRMEDE KFG VE TRIZ METODOLOJİLERİNİN UYGULANMASI

ÖZET

Bu çalışmada, KFG (Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme) Tekniği ve TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi), metalurjik bir uygulamada ele alınmıştır. KFG tekniği, müşteri isteklerini, sıfat olarak tanımlanan şekli ile alıp, onları sayısal verilere dönüştüren bir araçtır. Amacı, bütün ürün geliştirme olgusunun, müşteri istekleri doğrultusunda yapılmasını sağlamaktadır.

TRIZ metodolojisi, yaratıcı problem çözme olgusunu standardize etmeye çalışan bir sistematiktir. Tekniğin yaratıcısı G. Altschuller, yaratıcılığın aslında mühendislik problemleri çerçevesinde belirli ana prensipler çerçevesinde geliştiğini vurgulamıştır. Dolayısıyla, farklı mühendislik dalları arasında, aslında aynı buluşlar, farklı yorumlar ile yapılmaktadır. Bu düşünceden yola çıkarak, bütün mühendislik bilimlerinde 39 temel çelişkinin çözülerek, 40 ana prensibin uygulandığını gözlemlemiştir. Ancak TRIZ, yalnızca bu prensiplerden ibaret değildir. Pek çok farklı problem çözme aracı bulunan bu teknik, yaratıcılığı, mühendislik çalışmaları içerisinde yaygınlaştırmayı amaçlamaktadır.

Uygulama, Assan Alüminyum tesislerinde gerçekleştirilen ikiz merdaneli dökümdür. Daha yüksek katma değerli ürünlerin ve daha ince folyo kalınlıklarının elde edilmesi için, döküm öncesi yapılan tane küçültme işleminin iyileştirilmesine odaklanılmıştır. KFG ile genel olarak müşteri istekleri mertebesinden başlayarak, bileşen matrisi hariç olmak üzere her üç kalite evi yapılmıştır. TRIZ'e geçiş kademesinde, kalite evlerinde belirtilmiş olan çelişkiler temel alınarak, uygun bir çözüm modeli aranmıştır. Sonuç olarak, karıştırma yöntemi ile tane inceltici verimliliğinin arttılması ile ilgili deneyler gerçekleştirilmiş ve KFG ile TRIZ bağlamında bulunan çözümler ile deneysel sonuçlar irdelenmiştir.

THE USE OF QFD AND TRIZ METHODOLOGIES IN METALLURGICAL PRODUCT DEVELOPMENT

SUMMARY

In this study, QFD (Quality Function Deployment) and TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving) methodologies were used in metallurgical product development. QFD is a methodology that aims to put customer requirements within the product development phase. By taking customer wants as words with adjectives and no engineering value, the process aims to convert these desires into numerical output for design purposes.

TRIZ is a systematic that aims to standardize the innovation process to some extent. The founder of the theory, G. Altschuller, realised that all engineering problems are founded upon a series of contradictions. He noticed that these contradictions were not bound to any engineering science in particular. Thus, he created his 39 engineering contradictions, which are the basic parameters that must be solved for any innovative result. During the solving process, 40 principles are used to overcome these contradictions. TRIZ, however, is not just about the 40 principles, since there are many techniques used for creative problem solving. The objective is to systematize the innovative problem solving process.

The process under consideration was twin roll casting of aluminum at Assan Alüminyum. Due to increasing customer requirements and added value along with decreasing foil thickness, efforts were focused on the addition of master alloys prior to casting. In the QFD methodology, all three houses of quality except the parts matrix were made starting with customer requirements. On the QFD-TRIZ interface, the contradictions mentioned in the first house of quality were taken as the substance for problem solving. As a result, experiments were made by using mixers during master alloy addition. Both the solutions found by using the QFD and TRIZ methodologies along with the results of the mixing experiments were discussed.

1. GİRİŞ

Gerçekleştirilen tez çalışmasında, amaç, Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme Tekniği (KFG) ve Yaratıcı Problem Çözme (TRIZ) metodolojilerinin, bütünleşik bir şekilde kullanılmasını sağlamaktır. Bu doğrultuda, öncelikle üç konuda temel bilgi verilmiştir. Bunlardan birincisi, KFG konusundaki alt yapıdır. Yalnız, teorik bilgi ancak genel anlamda verilmektedir. Detaylı olarak KFG'nin işleyiş süreci [1], ve kalite evindeki hesaplamaların yapılış şekli [1-3] için detaylı kaynaklara başvurmak gerekmektedir.

İkinci temel bilgi verilen konu, TRIZ metodolojisidir. Burada, tüm tekniklerden bahsedilmiş ancak özellikle 40 prensip ve 39 çelişki üzerinde durulmuştur.

Üçüncü teorik bölümde ise kısaca ikiz merdaneli döküm yönteminden bahsedilmiş ve doğrudan uygulama konusu olan tane incelticiler hakkında bilgi verilmiştir.

Uygulama kısmında, tez çalışması için gerçekleştirilen KFG çalışması bulunmaktadır. Tezin amacı, KFG ve TRIZ'in ortak kullanımını belirtmek olduğu için, KFG'de takım çalışması ve pazarlama araştırması bazlı bir yaklaşım sergilenmemiştir. TRIZ bölümünde ise, anlatılan kısıtlamalar doğrultusunda, metodoloji uygulanmıştır. Karıştırıcıların seçimi ile ilgili anlatım TRIZ bölümünde bulunmaktadır ancak, karıştırıcı yaklaşımının TRIZ ile ilgili sakıncaları da bu bölümde belirtilmiştir.

Son olarak, deneysel çalışmalar ve numunelerin incelenmesi sonucundaki yorumlar verilmiştir. Sonuç ve tartışmalar bölümünde, genel olarak tez çalışmasının yorumlama süreci ile uygulama süreci arasındaki farklılıklar ortaya konmuştur.

2. TEORİ VE ALTYAPI BİLGİSİ

2.1 Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme Tekniği (QFD)

2.1.1 Tanım

Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme Tekniği veya KFG (Quality Function Deployment), müşteri isteklerini ürün tasarım veya geliştirme sürecine doğrudan entegre edebilmek için geliştirilmiş bir yöntemdir[1]. Bu doğrultuda hazırlanan dört tane "kalite evi" ile, müşterilerin sıfatlar halinde tanımladıkları istekler, sayısal bir değerlendirmeye tabi tutularak, proses için gerekli üretim bilgilerine kadar indirgenir[1].

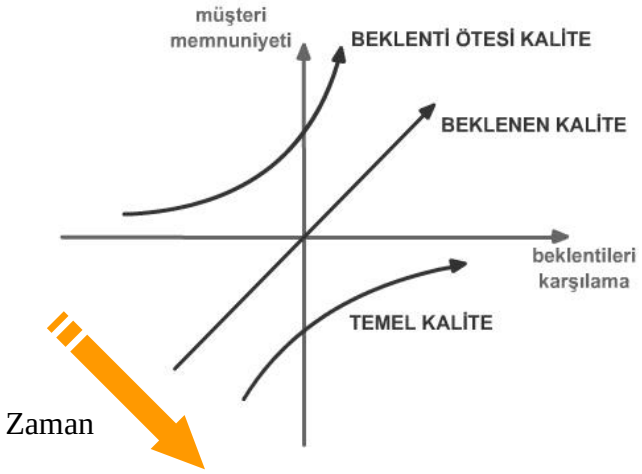
2.1.2 Tarihçe

KFG, ilk olarak Yoji Akao tarafından 1966 yılında geliştirilmiştir[1]. Mitsubishi Ağır Sanayi için, Kobe Tersanelerinde ilk uygulaması bulunan tekniğin amacı, son derece fazla parametresi bulunan gemi inşaatında, hangi isteklerin önceliklendirilerek, tasarımda daha fazla yer edinmeleri gerektiğinin belirlenmesi idi. İlk başarılı uygulamalardan sonra, Japonya'da daha fazla sektörde uygulamaya alındı.

Daha sonra, 1983 yılının sonuna doğru, metodoloji ABD'de tanıtılmıştır[3]. İlerleyen dönemlerde Bob King ve Don Clausing gibi sektörünün büyük isimleri tarafından ABD'de yayılan yöntem, şimdi tüm dünyada otomotiv sektöründen bilişim sektörüne kadar pek çok alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır[3].

2.1.3 Kano Modeli

KFG, yalnızca dört kalite evinin yapılmasından ibaret değildir. Temelinde, ürün geliştirme yaklaşımları arasında, son derece yaygın olarak kullanılan Şekil 2.1'deki "Kano Modeli" yatmaktadır[1].



Şekil 2.1 : Kano Modeli [1]

Model, müşterinin gözünde kaliteyi üç ana sınıfa ayırmaktadır. Bunlardan birincisi olan temel kalite, bir üründe olmazsa olmaz olarak nitelendirilen unsurları içerir. Buna örnek olarak bir arabanın fren veya direksiyonu örnek verilebilir. Olmamaları, aşırı derecede müşteri memnuniyetsizliği yaratacağı gibi, olmaları halinde de müşterinin gözünde kesinlikle bir ayırt ediciliğin sağlanması mümkün değildir. Bunlar, ürünün işlevselliğini yerine getirmesini sağlayan temel unsurlardır. Şekil 2.1.'den de görülebildiği gibi, belirli bir noktadan sonra bu temel özellikler açısından müşteri ihtiyaçlarının karşılanmaya çalışılması, müşteri memnuniyetine olan etkisini gittikçe kaybetmektedir[1].

Beklenen kalite ise, müşterinin doğrudan aldığı üründen, vermiş olduğu değer karşısında beklediği memnuniyettir. Isıtmalı koltuklar bazı arabalar için beklenti ötesi kabul edilebilir ama bir BMW™ veya Mercedes™ için, müşterinin zaten verdiği ücret ve aldığı marka çerçevesinde beklediği bir unsurdur. Burada, beklenen kalitenin göstergesinin doğrusal artmasının sebebi, verilen değer ölçüsünde bir memnuniyet artışı olduğunu ve en önemlisi müşterinin bundan haberdar olduğunu, seçim yaparken zaten buna göre yaptığını simgeler. Olmaması, yine çok büyük memnuniyetsizlik yaratacaktır[2].

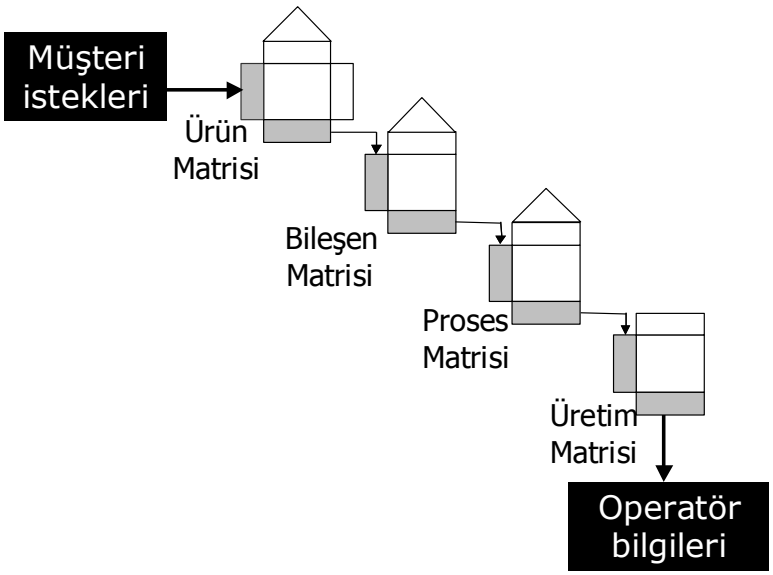
Beklenti ötesi kalite, diğer iki sınıflandırmadan farklı olarak, yaratıcı bir şekilde müşterinin normal beklentilerinin üzerine çıkılmasını ve böylece de üründe farklılık yaratılmasını öngörür. Burada, önemli bir ayrım söz konusudur. Müşterinin ne istediğini, doğrudan sorgulama ile elde etmek oldukça güçtür çünkü müşteri genellikle ne istediğini değil, ne *istemediğini* çok iyi bilir. Yaratıcılık unsuru burada devreye girerek, müşterinin kantitatif farklarını, ki pek çoğu negatif terimler (yani

istenmeyen öğelerin listesi) içerebilir, nasıl kalitatif geliştirilebilir parametrelere dönüştürülebileceğini öngörmelidir. Burada, "heyecan verici" olarak nitelendirilen, fark yaratan özellikler ürüne kazandırılmalıdır[2]. Olmamaları, negatif bir özellik taşımaz çünkü o özellikleri müşteri zaten beklemiyordur. Olma derecesine bağlı olarak ise, müşteri memnuniyeti üssel olarak artmaktadır[1].

Şekil 2.1.'de zaman da bir parametre olarak gösterilmektedir. Zaman ilerledikçe, piyasada "erken uygulayıcılar" olarak bilinen ve ilgili sektördeki eğilimleri yöneten lider kuruluşların ürünlerine kattıkları özellikler, standartlaşarak sektör içerisinde beklenir hale gelir.

2.1.4 Kalite Evi'nin Temel Yaklaşımı

Daha önce de bahsedildiği gibi, KFG dört evden oluşmaktadır. Bunlar, Şekil 2.2.'de belirtildiği gibi sırasıyla Ürün Matrisi, Bileşen Matrisi, Proses Matrisi ve Üretim Matrisi olarak geçer[1].



Şekil 2.2 : KFG Süreci [1]

Dört kalite evinin ayrı ayrı açıklanmasından önce, sistem akışı kısaca şu şekilde açıklanabilir: 1. kalite evi, müşteri isteklerini, teknik hedeflere dönüştürür. Amacı, sıfatlar halinde tanımlanan müşterilerin düşüncelerini, sayısal mühendislik ölçütlerine indirgemektir. 2. kalite evi, belirlenen hedefleri, sistemin bileşenleri açısından irdeler. Böylece, istekleri karşılamak için hangi bileşenlerin ne derece önemli olduğu ortaya konulabilir. Şekil 2.2.'de, kalite evlerinin gri olarak gösterilen

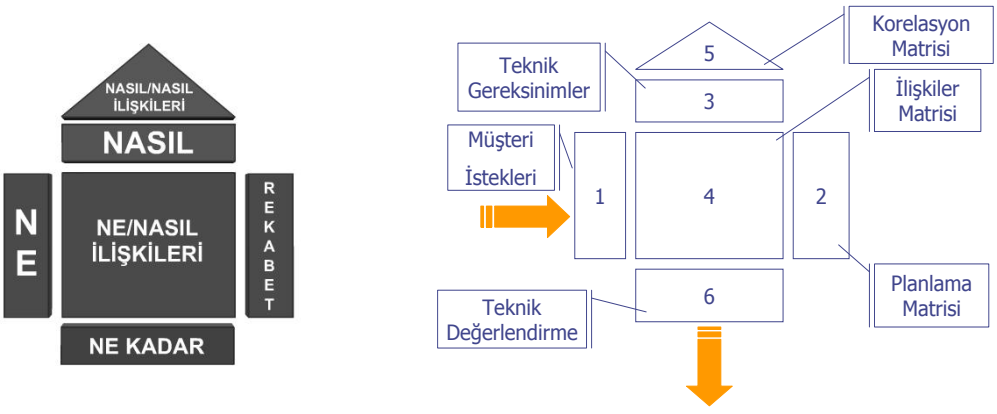
kısımları, her kalite evinin girdisini ve çıktısını belirlemektedir. Her kalite evinin çıktısı, diğerinin girdisini teşkil etmektedir[2].

2. kalite evinin çıktısı, önem sıralandırmaları ile belirtilmiş bileşenlerdir. Dolayısıyla, 3. kalite evi olan Proses Matrisi'nde, bu bileşenler, üretim prosesi içerisindeki kademeler açısından irdelenir. Böylece, ortaya müşteri memnuniyeti için önemli olan proses kademelerinin konulması mümkündür. Son kalite evinde ise, proses kademeleri, 1. kalite evinin üst tarafında belirtilmiş olan teknik hedeflerin daha detaylı olan bir şekli ile karşılaştırılır. Burada, bileşenler, ilgili hedefler, spesifikasyonlar, kalite planlarına değer olarak verilebilecek sayılar, kısaca üretimde doğrudan kullanılacak tüm olgular söz konusudur. Neticede, elde edilen, üretimde x prosesinin hangi y sıcaklığında, hangi z süresi boyunca çalışması gerektiği gibi net ölçülebilir ve uygulanabilir parametreler olmalıdır.

2.1.4.1 1. Kalite Evi: Ürün Matrisi

Pek çok uygulama, yalnızca Ürün Matrisini kullanır ve bu kalite evi sonlandırıldığında, çıktı olarak elde edilen hedefleri sonuç olarak gösterir. Oysa, bu yalnızca çalışmasının müşteri ara yüzüdür. Diğer kalite evleri kullanılmadan, yüzeysel bir çalışma söz konusudur.[1] Ancak, baştan sona, doğru değerleri gösteren bir KFG çalışması bulmak imkansıza yakındır, çünkü seçilen bir ürün için bütün ilişkiler, detaylar, hedefler, rekabet araştırmaları vs. gibi bilgileri, hiç bir gereksiz anlatım veya doküman olmadan, özet bir şekilde göstermektedir. Hiç bir firma bu derece özetlenmiş, bütün kritik unsurları belirlenmiş ve know how içeren bilgiyi dışarı vermez[1].

Şekil 2.3, 1. kalite evi olan Ürün Matrisini göstermektedir. Ürün matrisinin detaylı anlatımı, yalnızca KFG konulu pek çok kitap ve dokümanda bulunabilir[1-3]. Bu bölümün amacı yalnızca kısaca tanıtımın yapılması ve teorik altyapının sunulmasıdır.



Şekil 2.3 : Ürün Matrisi: Genel ve Teknik Gösterim[1]

İlk olarak, yönetim tarafından alınan stratejik bir kararla, belirli bir ürünün geliştirilmesine karar verilir ve bunun ile ilgili kaynak ayrılır. Daha sonra, 1. kalite evinde belirtilmek üzere müşteri istekleri, pazarlama araştırmaları çerçevesinde elde edilir.

Eğer mümkünse bu alanda bir rekabet araştırması (kıyaslama açısından) da yapılır. Bunu takiben, müşteri isteklerine tekabül eden teknik parametreler (mühendislik açısından önemli olan değişkenler) belirlenir, ve her birinin tüm müşteri istekleri ile olan ilişkisi belirlenir[1]. Aynı zamanda, teknik parametrelerin kendi aralarındaki çelişkileri belirlenir ki, bu kısım ileride de anlatılacağı gibi TRIZ'in yoğun bir şekilde uygulanabilirliğinin olduğu kademedir. Son olarak teknik parametreler için hedefler belirlenir. Aynı zamanda, bu teknik hedefler bazında da bir rekabet araştırmasının yapılması mümkündür ancak böyle bir çalışmanın gerçekten yapılabilmesi için baştan sona ortaklaşa yürüyen bir kıyaslama (benchmarking) çalışması yürütülmelidir. Bu tür projeler ise Türkiye'de maalesef oldukça kısıtlıdır.

2.1.4.2 2. Kalite Evi: Bileşen Matrisi

Bileşen Matrisinin amacı, bir önceki kalite evinde çıkarılan teknik hedeflerin, ilgilenilen ürün veya sistemin bileşenleri açısından irdelenmesini sağlamaktır[3]. Kano Modelinin belirtildiği Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi, her ilerleyen kademede kalite evleri üzerinde bazı kısımların "eksildiği" görülmektedir. Kalite evinde, sağ kısım olan "rekabet araştırması" yoktur çünkü teknik parametreler bazında eğer bir "benchmarking" çalışması yapılabildiyse, bu zaten 1. kalite evinin teknik hedefler kısmında belirtilmektedir

Bileşen matrisinde, sol kısım, 1. kalite evinin çıktısı olan teknik hedefler ve önem yüzdeleri, ve üst kısım da sistemin veya ürünün bileşenleridir. Bu doğrultuda yine evin bir çatısı söz konusu çünkü geliştirilmek istenen bileşenlerin birbirleri ile çelişkili olması söz konusu olabilir. Bu matrisin çıktısı ise, önceliklendirilmiş bileşenler olacaktır.

2.1.4.3 3. Kalite Evi: Proses Matrisi

İlk iki matris, ürünün kavram aşamasından teknik hedeflere ve bileşenlere indirgemiştir. Şimdi, katma değerin daha ayrıntılı olarak prosesler ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, sol kısımda bileşenler, üst kısımda ise

ayrıntılı olarak proses kademeleri belirtilir. Üst kısım, bir nevi proses reçetesidir. Böylece, hangi proses kademesinin, müşteri isteklerini gerçekleştirme açısından ve önceliklendirilmiş bileşenler açısından daha kritik olduğu belirlenmektedir.

2.1.4.4 4. Kalite Evi: Üretim Matrisi

Üretim Matrisi, dört kademeli sürecin son noktasıdır. Müşterini sesi, proses parametrelerine kadar indirgenmiş bulunmaktadır. Dolayısıyla, bu matrisin amacı, proses hedeflerinden yola çıkarak operatöre verilebilecek üretim verilerini ortaya koymaktır. Üst kısım, Ürün matrisi ile benzerlik taşımaktadır ki bu sebepten dolayı korelasyon matrisi belirtilmemiştir. İlk olarak proses değerleri sol kısma yazılır. Üst kısma ise, ürünün fiziksel özellikleri, birinci kalite evinden ilgili parametreler (teknik parametrelerden) ve bunun dışında kalite planı oluşturmak için gerekli tüm değişkenler belirtilir. Ürün için kritik kalite karakteristikleri veya üretim verileri de bu ilişkilerden tespit edilir.

Sonuçta, müşterinin sesi, ürünün temel unsuru haline gelmelidir. Kağıt üzerinde ilişkiler her ne kadar iyi belirtilirse belirtilsin, aslolan mühendislik çalışması sonucunda çıkarılan ürünün, pazarda öngörülen talebi yaratmasıdır.

2.1.5 KFG - Genel Perspektif

Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme Tekniği, belirli sektörlerde ve ülkelerde farklı oranlarda uygulanmaktadır[4-5]. Tablo 2.1, bu konuda yapılmış olan bir anket çalışmasından alınmıştır.

Tablo 2.1 : KFG'nin Bazı Ülkelerde Kullanımı [4]

Ülke	Örnek sayısı	Cevap verme oranı (%)	QFD Kullanılıyor mu? (%)
İsveç	31	100	100
ABD	417	36.8	69
Japonya	400	37.5	33
Brezilya	111	28	28
İngiltere	246	27.9	32.3

Tablo 2.1'deki sayılar, her ne kadar İsveç'te %100'lük bir kullanım olduğunu belirtse de, kullanan firmaların cirosu ve iş hacimleri göz önünde bulundurulduğunda, ABD ve Japonya uygulamaların daha büyük etki yarattığı bölgelerdir.

Kullanım sayılarındaki değişkenlik, hem KFG'nin genel olarak ülkelerin iş disiplinine olan uyumuna, hem de KFG'yi başarıya götüren unsurlara bağlıdır. KFG projelerinin başarı faktörleri üzerine yapılan bir çalışma[5], 16 başarılı ve başarısız projeyi karşılaştırarak, başarılı projelerin dinamiklerini irdelemiştir. Her proje, ilk olarak dört ana olguyu doğru bir şekilde tanımlamalıdır: Tasarım hedefleri, tasarım şartları, tasarım parametreleri ve tasarımın etkileri. Bunlar mutlaka net bir şekilde tanımlanmış ve birbirinden ayırt edilmiş olmalıdır. Ayrıca, aşağıda belirtilen unsurlar, KFG projelerini başarıya götüren yolda önemli pay sahibidir[5]:

- Multidisipliner takım çalışmasının algılanmış olması
- Pilot projeler ile başlayan, aşağıdan yukarı yönlenme ve bir grupta en fazla 10 kişinin bulunduğu 2 günlük temel eğitim
- Hedeflerin net tanımlanarak, tüm takımlar tarafından algılanmasının sağlanması
- Müşteri temsilcilerinin de mümkünse bulunduğu multidisipliner takımın, aynı zamanda moderatörlük görevi yapmayan bir proje yöneticisi tarafından yönetilmesi
- Pazarlama araçlarında, KFG'de belirtilen temel tekniklerin dışına çıkılması
- Özellikle 1. kalite evinin son derece titiz bir şekilde tamamlanması. Bu kriter başka pek çok kaynakta da belirtilmiştir[1-5], ve doğal olarak her süreçte olduğu gibi, girdilerin etkin bir şekilde yapılandırılması, çıktının kalitesini doğrudan etkilemektedir.

2.1.6 KFG - Avantajlar ve Dezavantajlar

Başarı kriterlerinden bu derece yoğun bahsedilmesine rağmen, aslında KFG'yi başarı ile yürüten firma sayısı (başarılı KFG projesi, her dört evi de tamamlayıp üretime doğrudan katkı sağlayan projeler olarak tanımlanmıştır) azdır[6]. Ürün geliştirme örneklerinde sıklıkla belirtilen Toyota'da bile, tekniğin temel yapısını yerleştirip, kar eder bir yapıya getirene kadar en az 7 yıl geçmiştir[6].

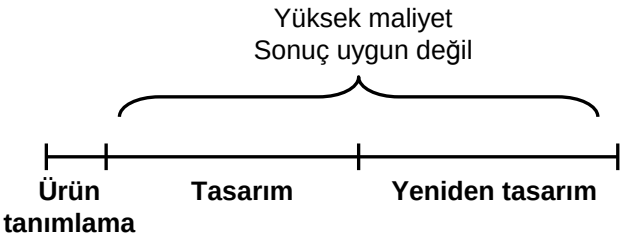
Her yöntemde olduğu gibi KFG'nin de belirli dezavantajları bulunmaktadır. İlk olarak, temel haliyle, pazarlama araştırmaları açısından verilen metodolojiler, pazarlama bilimi açısından oldukça eksik kalmaktadır ve takviye edilmeleri gerekir[6]. Tabii, bu metodolojinin temel yapısı açısından sorun doğurmuyor, çünkü kullanıcı, müşteri isteklerini doğru tanımladığı sürece istediği şekilde bir yöntem kullanabilir.

Başka bir dezavantaj, takım çalışması prensibi çerçevesinde, ilişkilere sayısal değer vermenin zorluğudur. FMEA (Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi) gibi çalışmalarda da buna benzer bir yöntem olsa da, 20 müşteri isteği ve 20 teknik gereksinim söz konusu olduğunda, 400 tane ilişkini tartışılması gerekmektedir. KFG Tekniği ile toplamda her ne kadar tasarım süresi düşse de, ön tasarımın süresi gereğinden fazla artabilmektedir. Bu zorluğun üstesinden gelebilmek için, bazı danışmanlık firmaları paretto prensibinden yola çıkarak, ilişkilerin öncelikle takım bireyleri tarafından doldurulmasını ister[1]. Genellikle %80'lik bir kısım üzerinde fikir birliği vardır, ve aslında zamanın %80'ini alacak olan tartışmalar, ilişkilerin %20'sidir.

Diğer bir sorun, tasarım açısından kritik önem taşıyan ilişkileri göstermek için, yalnızca kesin sayıların verilmesidir. Bu kesin sayılar (1-3-9), ilişkinin derecesini açıklamak için yetersiz kalabilmektedir[6]. Buna çözüm olarak, yaklaşık veya aralık içerisindeki değerlerin verilmesi önerilmektedir[6].

Avantajlara değinildiğinde ise, KFG ilk olarak tasarım konseptine müşteri odaklılığını sadece sözel olarak değil, sayısal olarak getiren bir tekniktir. Hangi müşteri isteğinin hangi ürün parametresini ne derece etkileyeceği, proje üzerinde çalışan yalnızca bir tane mühendisin kararı ile ortaya konmamaktadır.

Başka bir avantaj, tasarım süresidir. Şekil 2.4'te belirtildiği gibi, klasik tasarım sürecinde yer alan "yeniden tasarım" olgusu aşırı derecede kısaltılır ve bunun karşılığında yoğunluk ön tasarıma verilir. Aslında, olgunun temelinde karar verme sürecinin erkene alınması söz konusudur[3]. "İlk seferinde doğru yap" mantığı ağır basmaktadır.



Şekil 2.4 : Klasik tasarım süreci[3]

Sistematikliği ve anlaşılabilirliği başlı başına bir avantajdır. 4 kalite evi, yüzlerce sayfalık bir ürün geliştirme raporuna eş değer bir bilgi saklamaktadır. Bu sebeptendir ki, baştan sona, tüm sayısal verileri ile doğru olan bir KFG çalışması bulmak imkansıza yakındır.

Genel olarak, belirtilmiş dezavantajları ortadan kaldırmak için, eşzamanlı mühendislik çerçevesinde daha ileri KFG yaklaşımları oluşturulmuştur[6]. Bunlardan biri olan ICoDe (Integrated Concept Development) veya Entegre Konsept Geliştirme modeli, özellikle pazarlama tarafındaki eksiklikleri ve ürün geliştirmede konsept seçimi üzerinde durmaktadır[6]. Bu çalışmanın amacı, yalnızca KFG yaklaşımları ve müşteri analizleri üzerine yapılandırılmadığından, daha gelişmiş olan bu teknikler kullanılmamıştır. Amaç, KFG ile TRIZ arasındaki geçişin ve bu bağlamda ürün geliştirmede her iki tekniğin birlikte kullanılmasının avantajlarının yansıtılmasıdır.

2.1.7 KFG ve TRIZ

Kalite Fonksiyonları Geliştirme Tekniği ile TRIZ, müşteri isteklerini önceliklendirme ve bu öncelikler ile ilgili çelişkilere yaratıcı sorun çözüm getirme bağlamında ideal bir yapı oluşturmaktadır. Her iki yöntem, ürün geliştirme safhasının pek çok kademesinde birlikte kullanılabilmektedir[8]. Bu tezin amacı, KFG'nin başlı başına çıkarılması değil, KFG'de belirlenen çelişkilerin TRIZ ile çözüm sürecini ortaya koymaktır.

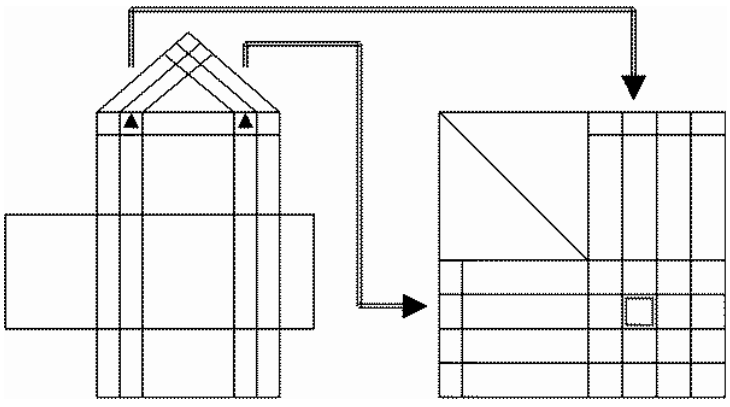
KFG, ürün geliştirmede "omurga" olarak alınabilir, çünkü yapı itibari ile genel bakan bir tekniktir. TRIZ, genellikle çelişkilere odaklanarak, yaratıcılığın sistematik bir şekilde kullanılmasını öngörür. Tablo 2.2. bu bağlamda her iki yaklaşımın etkileşimini net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Tablo 2.2: KFG ve TRIZ'in Etkileşimi[8]

		KFG									
		Ürün Planlama	Gemba	Müşterinin Sesi	Beklenen Kalitenin Dağılımı	Güveniliriğin Dağılımı	Fonksiyonların Dağılımı	Konsept Seçimi	Bileşen Seçimi	Üretim Planlama	Kalite Güvence Planı
TRIZ	Mükemmel Nihai Çözüm	X			X	X	X	X			
	Teknolojik Evrim	X			X	X		X	X		
	Çelişkilerin Çözümü	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Kaynak Kullanımı		X					X	X	X	X
	Fonksiyonel Analiz	X			X	X	X			X	
	Hedeflerin sadeleştirilmesi	X			X	X	X			X	
	Bilimsel etkiler							X	X	X	X
	Özelliklerin transferi							X	X		
	Olası Hata Tahmini					X					X

Ancak, Tablo 2.2'deki etkileşimlerin kesinlikle bu çerçevede gerçekleştiğini söylemek fazla kısıtlayıcı bir yaklaşım olur. Örneğin, müşterinin sesi mükemmel nihai çözüm ile teknolojik evrim konusunda da fikir verebilir. Tablo, doğrudan kaynağa sadık kalınarak alınmıştır.

Genel etkileşim dışında, TRIZ'in en yoğun olarak kullanıldığı ve bu çalışmada da ön plana çıkarılan yanı, 1. kalite evinin çelişkiler matrisinde belirlenen olguların çözümü için yapılan yaklaşımdır. KFG'de adı "çelişkiler matrisi" olan evin "çatısı", birebir TRIZ uygulaması için bir fikir tarlasıdır. KFG yalnızca genel yönlenmeyi verebilir, ve hangi özelliklerin ne derece geliştirilmesi gerektiğini belirler. TRIZ ise bunu mümkün kılan yöntem olmalıdır.



Şekil 2.5 : KFG'nin Korelasyon Matrisi ile TRIZ'in Çelişkiler Matrisi[9]

Şekil 2.5, ideal bir etkileşimi göstermektedir. Ancak, genellikle kalite evinin çelişkileri, TRIZ'in 39 çelişki matrisindeki gibi şekillendirilmemiştir[9]. Yani, mühendislik parametrelerinin doğrudan TRIZ Genel sorunu halinde tanımlanması beklenemez. Onun yerine, KFG'nin aslında belirttiği, *bireysel sorundur*. Yani, TRIZ'in ilk kademesini başlatan "Bireysel Sorunun Belirlenmesi" aslında çelişkiler matrisinde yer alır. Daha sonra, gerek karmaşık problemler için kullanılan ARIZ (Problem çözme algoritması) yaklaşımı gerek diğer araçlarla, bu bireysel sorun genel sorun haline getirilip 39 çelişki matrisinde yorumlanır[9].

TRIZ'de öne çıkan bir diğer araç, Teknolojik Evrim Potansiyeli'dir. Tüm araçları odaklanmaya doğru çalışan bir metodolojide, genel yönlenme için faydalı bir araç olan Teknoloji Evrim, Kano Modeli'nde belirtilmiş olan "beklenti ötesi kalite"nin belirlenmesi için son derece faydalı olacaktır. Bunun sebebi, ilgilenilen sistemin evrim potansiyelinin ortaya çıkarılarak, en az gelişmiş parametre üzerine, çelişkiler doğrultusunda odaklanılması ve minimum çaba ile maksimum müşteri memnuniyetinin elde edilmesidir.

2.2. Yaratıcı Problem Çözme Tekniği (TRIZ)

2.2.1 Tanım

TRIZ, Rusça "Yaratıcı Problem Çözme Teorisi" anlamına gelmektedir. Amacı, yaratıcılığın metodolojisini, bir nevi bilimini, ortaya koymaktır[10]. TRIZ, sistemlerin, çelişkileri yenerek, artan mükemmelliğe doğru geliştiğini ve bunu minimum kaynak artışı ile yapıldığını savunur. Dolayısıyla, yaratıcı problem çözmenin metodolojik olarak anlaşılması için, sorunun tanımlanması, ideal çözümün belirlenmesi ve çelişkilerin üstesinden gelinmesi için araçlar sunar[10].

Yukarıdaki paragrafta kullanılan kavramlar, örneğin "mükemmellik", "sistem" ve "çelişki" gibi, TRIZ içerisinde ayrıca tanımlanmıştır ve bölüm 2.2.3'te ele alınacaktır. Kısaca bu sistematiğin diğer tüm sorun çözme yaklaşımlarından olan farkı ele alınırsa, TRIZ, mühendislik yaklaşımlarında çok sık kullanılan "optimum" mantığını – yani bir çelişkinin en uygun durumunu – değil, "mükemmel" (ideal) çözümü – yani çelişkinin tamamen ortadan kaldırıldığı çözümü – hedefler.

2.2.2 Tarihçe

"Yaratıcı Problem Çözme Tekniği", ilk olarak 1940-1950 yılları arasında Genrich Altschuller tarafından ortaya konuldu. Bir Rus olan Altschuller, o zamanlar çalışmakta olduğu patent bürosunda, pek çok buluş ve geliştirmeyi inceleme ve irdeleme olanağına sahipti. Normal görevi olan patentlerin düzenlenmesi ve resmi evraklara geçirilmesi dışında, kendi ilgisi doğrultusunda, yapılan geliştirmelerin ve buluşların arasında bazı ortak noktalar olduğunu fark etti. Bu doğrultuda araştırma yapmaya başlatan Altschuller, ilk etapta 40,000 patent inceledi ve çözülen bütün sorunların, aslında 39 mühendislik parametresinin arasındaki çelişkiler olduğunu ve bunların çözümünün aslında 40 ana prensibin uygulanmasından geldiğini belirledi[7].

Yaptığı bu çalışmaların, o zamanın Sovyetler Birliği'ne çok büyük fayda sağlayabileceğini düşünerek, Stalin'e bir mektup yazdı ve ülkesinin bilim adamları için çok yararlı olabilecek bir metodoloji keşfettiğini, bunun yayılabilmesi için çalışma yapılması gerektiğini savundu. Mektubun Kremlin'e ulaşmasının ardından, Altschuller Sibirya'ya sürgüne yollandı[10].

Sibirya'da kaldığı bölgede kendisi gibi pek çok sürgüne yollanmış bilim adamı mevcuttu. Orada, yaratıcılığın kendi başına bir bilim olması gerektiği düşüncesini ve patent bürosunda yaptığı çalışmalar soncunda bulduklarını yayma fırsatı elde etti. Bu dönemde yapılan çalışmalar, TRIZ'in, var olan buluşları yorumlayan bir düşünce tarzından, aynı sistematikleri yeni buluşlar yapmak için kullanan güçlü bir metodoloji haline gelmesini sağladı[7].

Bu çalışmaları sonucunda, "ARIZ" olarak nitelendirilen, TRIZ'in problem çözme sistematiğini getiren "Yaratıcı Problem Çözme Algoritması" geliştirildi. Aynı zamanda, ARIZ'in bünyesinde kullanan (Altı sigma metodolojisindeki gibi, ARIZ, genel bir kurgudur; temel araçlar, bu kurgu içerisinde kullanılır) araçlar da pekiştirildi. Ancak, yöntemin batıya gelmesi 1980'li yılları buldu. Bu tarihten itibaren, Boeing ve NASA gibi çok yoğun ARGE faaliyetleri yürüten kuruluşlarda başarıyla uygulandı.

1990'larda, ABD'de Altschuller'in kurucusu olduğu TRIZ Institute kuruldu. Buna paralel olarak, Avrupa ve Japonya'da da TRIZ uygulamaları başladı. TRIZ yazılımları CREAX, Ideation gibi firmalar tarafından 1990-2000 yılları arasında

geliştirildi. Altschuller ile birlikte çalışan mühendisler ve bilim adamlarından bir kısmı, metodolojiye kendi yönlerinde şekil vermek üzere kendi danışmanlık/eğitim firmalarını kurdular (bu sebeptendir ki, bazı gösterimlerde veya sınıflandırmalarda farklılık gözlenebilmektedir). Genrich Altschuller, 1998 yılında vefat etti.

2.2.3 Genel Kavramlar

Bu teorinin prensiplerinin net olarak ortaya konulması için, öncelikle belirli tanımlamaların yapılması gerekmektedir[10]:

- Teknik Sistem: Karmaşıklık derecesine bakılmaksızın, bir veya birden fazla parçadan oluşan herhangi bir madde/obje. Üç boyutlu uzayda olan bağlantıyı temsil eder.
- Teknik Proses: Bir teknik sistem yardımıyla yapılan herhangi bir suni faaliyet veya faaliyetler dizisi. Zaman boyutunda olan bağlantıyı temsil eder.
- Mühendislik Parametresi: "Hız", "verimlilik", "kuvvet" gibi, herhangi bir madde üzerinde değiştirilen parametreler. Altshuller, bunları 39 başlık altında toplamış bulunmaktadır.
- Çelişki: Bütün sorunların temelinde bulunan ve optimum değil, ideal sorunun bulunması için çözülmesi gereken olgular. Çelişkiler, mühendislik problemlerinde genellikle "darboğaz" olarak nitelendirilen kısımların temelinde yatar.
- Mükemmellik: Herhangi bir kaynak harcanmadan, birincil fonksiyonunu hiç bir zararlı etki olmadan yerine getiren bir Teknik Sistem veya Teknik Proses.

  Mükemmellik kavramı aslında Altschuller'in çalışmalarından önce, "Value Engineering" kavramının gelişmesi ile ortaya konulmuştu. Yalın bir şekilde ifadesi denklem 2.1'de görülmektedir.

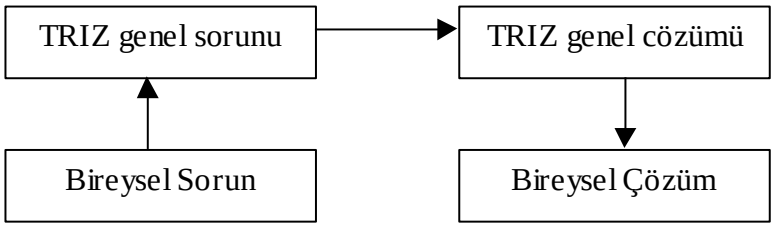
$$Mükemmelli \quad k = \frac{\sum fayda}{\sum zarar} \tag{2.1.}$$

  Bazı gösterimler, paydada "maliyet"i ayrıca belirtir, çünkü o da tüketilen bir kaynaktır. Mükemmellik kavramı çerçevesinde "Mükemmel Nihai Çözüm" (Ideal Final Result: IFR) olarak nitelendirilen, hiç kaynağın tüketilmediği ve

birincil fonksiyonun dört dörtlük yerine getirildiği bir olgu söz konusudur. TRIZ'in amacı, bu mükemmel çözüme ulaşmaktır.

- Çözüm uzayı: Bir çelişki için mevcut olan tüm çözümlerin bulunduğu "uzay". Aynı sorun için, 1. kademe bir çözüm de bulunabilir, çok daha yüksek mertebeden bir çözüm de. TRIZ'in amacı, buluşların bir nevi "kalite"sini arttırmaktır.

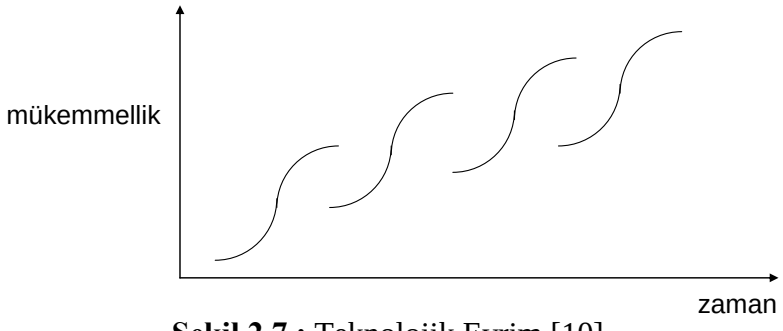
Şekil 2.6., TRIZ'in problem çözme metodolojisini sergilemektedir. Altschuller'in araştırmaları sonucunda, tüm bireysel mühendislik sorunlarının, tanımlanan TRIZ araçları ile genel bir problem tanımı haline getirilebileceği belirtilmiştir. Buradan ise, yine aynı soruna, çözme araçları kullanılarak genel bir çözüm bulmak mümkün. Daha sonra, genel olarak bulunan bu çözüm, sorunu çözmek ile yükümlü ekip/kişinin mühendislik bilgileri ışığında kendi durumuna adapte edilmelidir.



Şekil 2.6 : TRIZ'in problem çözme metodolojisi [10]

Genel sorun ile genel çözüm ara yüzü, zaten yapılan çalışmalar ile oldukça net hale getirilmiştir. Ancak, ilk kademe olan karmaşık bir problemin TRIZ araçlarına uygun indirgenmesi ve son kademe olan genel çözümün bireysel çözüme dönüştürülmesi, tamamen ilgili mühendislik dalının ve TRIZ altyapısının ne kadar iyi olduğuna bağlıdır.

TRIZ'in temelindeki düşüncelerden birisi şudur: Teknik sistemler, genellikle minimum kaynak artışı ile çelişkileri yenerek, mükemmelliğin artışına doğru gelişir. Bu gelişimi, Altschuller "s" eğrileri olarak tanımlamıştır ve gösterimi aşağıda Şekil 2.7'de belirtilmektedir.



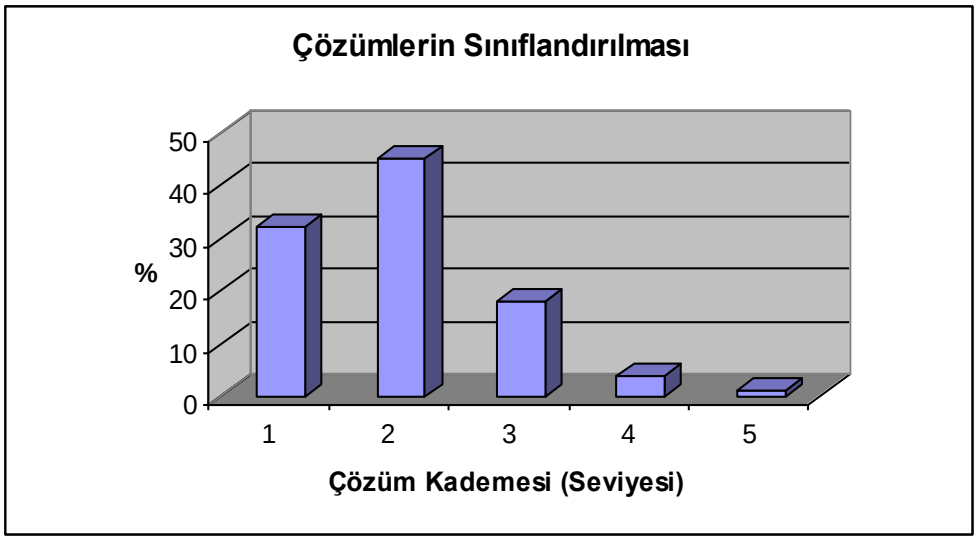
Şekil 2.7 : Teknolojik Evrim [10]

Teknolojik evrim sürecinde neden “s” şeklinde eğrilerin çizildiği şöyle açıklanabilir: Bir sistem veya proses üzerinde geliştirme yapıldıkça, o konu ile ilgili bilgi ve tecrübe artar ve gelişim hız kazanır (“s” eğrisinin ilk kısmı). Belirli bir zaman aralığında çok hızlı yol alınır ve ardı ardına buluşlar ve iyileştirmeler yapılır o konuda, ki bu da logaritmik artışı anımsatan orta kısımdır. Bundan sonra yapılan araştırmalar, ürün/sistem üzerindeki verimliliği gittikçe daha az etkiler veya yapılan iyileştirmeler mutlaka kayda değer bir maliyet artışı gerektirir. İşte bu durumda, ürün veya sistem, geliştirilen ve artık optimum noktasına gelen çelişkilerin sınırına dayanmıştır. Daha yüksek seviyeli bir buluş ile, farklı bir yaklaşım gerekmektedir. Bu buluş yapıldığında, MIT’den Clayton M. Christensen tarafından ortaya atılan zarar verici yaratıcılık (disruptive innovation) kavramı gerçekleşmektedir. Bu atlamalar, hem uzun vadede fayda sağlamakta, hem de kısa vadede belirli firmaların yok olmasına sebebiyet vermektedir[11].

Örnek olarak, bir önceki teknolojiyi yetersiz hale getirecek pek çok buluştan bahsetmek mümkün. Mekanik hesap makineleri, ilk bilgisayarların ortaya çıkışı ile varlıklarını ancak maliyet bazında sürdürebildiler. Sonra, transistör boyutlarının küçülmesi ve üretim maliyetlerinin inmesi ile birlikte yok oldular. Şimdi ise, 18 ayda işlemci hızının 2 katına çıkması veya aynı işlemci maliyetinin yarıya inmesini öngören “Moore Kanunu”[11], silikon üzerine yerleştirilebilen transistör sayılarının artık belirli bir üst noktaya dayanmaya başlaması ile tehdit altındadır. Çekirdeklenmeye başlayan ve çok farklı prensipler kullanan başka teknolojiler de bu arada gelişim göstermektedir, ki bunların başında “Quantum Computing” [12] olarak adlandırılan, elektrik yerine doğrudan ışık ile bilgi taşımayı hedefleyen sistemler gelmektedir. Belki, bu konular, bir “s” eğrisini sonuna doğru gelmesi ile diğer “s” eğrisinin başlangıcını getiren buluşlar olacaktır.

2.2.4 Çözümlerin Sınıflandırılması

Altschuller, yaptığı çalışmalar sırasında, ki bunların en başında patentlerin sınıflandırılması gelmekteydi, her geliştirme çalışmasının veya “buluş”un, aslında özünde aynı olmadığını fark etti. Bunlar zaten prensip bazında sınıflandırılabiliyordu ancak, bir de zorluk derecesi açısından bir farklılık söz konusuydu. Altschuller, beş farklı çözüm kademesi belirleyerek, onları Şekil 2.8.’de belirtildiği gibi sınıflandırdı.



Şekil 2.8 : Mühendislik çözümlerinin yüzde dağılımları [10]

1. kademe, en basit geliştirmelerin olduğu ve düz optimizasyon mantığı kullanılarak gerçekleştirilen geliştirmelerdi. 5. kademe ise, yepyeni bir kavramın uygulamaya alınması veya bulunması idi, ki buna örnek olarak bilginin taşınması için elektrik değil ışığın kullanılması verilebilir. TRIZ her ne kadar buluşçuluğu sistematize etme mantığını içerse de, her yapılan çalışmasının mükemmel çözüme yakın bir sonuç vermesi mümkün değildir. Dolayısıyla, TRIZ ile bulunan çözümlerin, normalde 1. ve 2. kademede olan sonuçları, 3. ve 4. seviyeye ulaştırması veya kısaca, Şekil 2.8.'de belirtilen dağılımın, sağa doğru kaydırılması amaçlanıyor.

2.2.5 TRIZ Araçları

TRIZ bünyesinde, birden çok araç, problem çözme sürecine yaratıcı bir yaklaşım getirmek için kullanılmaktadır.

2.2.5.1 40 Buluşçu Prensip

Daha önce de belirtildiği üzere, Altshuller'in yaratıcılığı sınıflandırma ve sistematize etme çabaları, yapılan inovasyonların belirli kademeler çerçevesinde toplanabileceğini göstermişti. Altshuller bunlara "40 Buluşçu Prensip" adını vermiştir. Bu prensipler, bir sonraki bölümde anlatılacak olan "39 Mühendislik Çelişkisi"nin çözümünde kullanılmak üzere sınıflandırılmıştır. Prensipler, Tablo 2.3'te de belirtilmiştir.

Tablo 2.3. 40 Buluşçu Prensip [10]

1	Bölünme	**11**	Önceden yastıklama
2	Çıkarma	**12**	Eşit potansiyel enerji
3	Bölgesel Kalite	**13**	Tersine çevirme / tersyüz etme
4	Asimetri	**14**	Küresellik
5	Kombinasyon	**15**	Dinamiklik
6	Evrensellik	**16**	Kısmi veya fazladan yapılmış işlem
7	Uzay Hiyerarşisi	**17**	Başka bir boyuta geçiş
8	Denge sağlamak için ağırlık	**18**	Mekanik titreşim
9	Önceden karşıt hareket	**19**	Periyodik hareket
10	Önceden hareket	**20**	Faydalı işlemin devamlılığı

21	Acele etme	**31**	Gözenekli malzemeler veya membranlar
22	Zararın yarara dönüştürülmesi	**32**	Rengin değiştirilmesi
23	Geri besleme	**33**	Homojenlik
24	Arabulucu	**34**	Parçaların atılması veya yenilenmesi
25	Self-servis	**35**	Cismin fiziksel ve/veya kimyasal halinin değiştirilmesi
26	Kopyalama	**36**	Faz dönüşümleri
27	Ucuz kısa ömürlü nesneler	**37**	Termal genleşme
28	Mekanik alanın değiştirilmesi	**38**	Güçlü oksitleyicilerin kullanılması
29	Pnömatik veya hidrolik yapılar	**39**	İnert atmosfer
30	Esnek kabuklar veya ince filmler	**40**	Kompozit malzemeler

Bu prensipler, incelenen patentlerde, mühendislik bilim dalı ne olursa olsun, ortak olarak tespit edilen “inovasyon yönlerini” veya “çözüm prensiplerini” belirtmektedir.

Tablo 2.3'te bu prensipler özet olarak yalnızca tanımlandıkları isimleriyle gösterilmişlerdir. Şimdi, her madde için Altschuller'in o maddenin nasıl kullanıldığı ile ilgili bir veya bir kaç açıklama verilecektir. 40 prensip anlatıldıktan sonra, bazı prensipler için örnekler verilecektir[10].

Prensip 1: Bölünme

i. Bir maddenin bağımsız parçalarına bölünmesi
ii. Bir maddenin modüler haline getirilmesi
iii. Segmentasyon derecesinin arttırılması

Prensip 2: Çıkarma

i. Birim maddenin sorun çıkaran parçasının veya özelliğinin çıkarılması, veya yalnızca gerekli olan kısmının bırakılması

Prensip 3: Bölgesel Kalite

i. Bir maddenin yapısını, homojenden heterojene çevirmek veya dış çevrenin (veya dış etkinin) homojenden heterojene çevrilmesi.
ii. Bir maddenin her kısmının, o kısım için en iyi koşulları veren şekilde işlemesinin sağlanması
iii. Bir maddenin farklı kısımlarının, farklı faydalı işlevlerin yerine getirmesini sağlanması

Prensip 4: Asimetri

i. Bir maddenin şeklinin, simetrikten asimetriğe çevrilmesi
ii. Eğer madde asimetrik ise, asimetriklik derecesinin arttırılması

Prensip 5: Kombinasyon

i. Aynı veya benzer maddelerin birleştirilmesi, aynı veya benzer parçaların paralel işlemler yapmak üzere birleştirilmesi
ii. İşlemlerin süreli olarak veya paralel halde yerine getirilmesi, aynı zamanda gerçekleştirilmesi

Prensip 6: Evrensellik

i. Bir parçanın veya objenin birden çok işlevi yerine getirebilmesinin sağlanması, başka parçalara olan ihtiyacın giderilmesi

Prensip 7: Uzay Hiyerarşisi

i. Bir objenin, başka bir obje içerisine yerleştirilmesi, veya sırayla farklı objelerin birbirleri içerisine geçirilmesi

ii. Bir maddenin, başka bir madde boşluğunun içinden geçmesinin sağlanması

Prensip 8: Denge sağlamak için ağırlık

i. Bir maddenin ağırlığının dengelenmesi için, kaldırma kuvveti sağlayan başka objeler ile birleştirilmesi

ii. Bir objenin ağırlığını dengelemek için, çevre ile etkileşim içerisine girmesinin sağlanması (örn: aerodinamik, hidrodinamik, vs. kuvvetlerden faydalanılması)

Prensip 9: Önceden karşıt hareket

i. Eğer ki, mutlaka hem faydalı hem de zararlı etkiler yaratacak bir hareket yapmak gerekiyorsa, o zaman zararlı hareketi engelleyecek "anti-hareket"lerin önceden gerçekleştirilmesi

ii. Objenin içerisinde, daha sonra gerçekleşecek olan istenmeyen hareketleri engelleyecek faaliyetlerin yaratılması

Prensip 10: Önceden hareket

i. Faaliyetin, faydalı fonksiyonunu gerçekleştirmeden önce, kısmi veya tam olarak, ilgili değişikliği gerçekleştirmesi. Yani, fonksiyon için gerekli olguların kısmen veya tamamen yerine getirilmesi, yalnız bunun önceden yapılması.

ii. Objelerin yeniden düzenlenerek, en uygun yerlerden işlevlerinin yerine getirilmesi sağlanarak, faydalarını yerine getirme zamanlarının kısaltılması.

Prensip 11: Önceden yastıklama

i. Bir objenin düşük güvenilirliğini dengelemek için, acil önlemlerin önceden hazırlanması

Prensip 12: Eşit potansiyel enerji

i. Herhangi bir alanda, potansiyel enerjiyi değiştirecek yer değişimlerinin kısıtlanması (yer çekimi dahilinde objelerin hareket etmesini gerektiren olguların değiştirilmesi)

Prensip 13: Tersine çevirme / tersyüz etme

i. Sorunu çözmek için gerçekleştirilen faaliyetlerin tersine çevrilmesi (örn: parçayı soğutmak yerine ısıtmak)

ii. Gereksinimler yüzünden gerçekleştirilen bir faaliyet yerine, tam tersi bir faaliyetin gerçekleştirilmesi

iii. Dış çevrenin hareket eden parçalarının sabit, sabit olanların ise hareket ettirilebilir hale getirilmesi

iv. Madde veya prosesin tersyüz edilmesi

Prensip 14: Küresellik

i. Düz hatlardan oluşan parçalar veya maddeler kullanmak yerine, kıvrımlı parçaların kullanılması; düz yüzeylerden küresel yüzeylere geçilmesi, vs.

ii. Spirallerin, topların vs. kullanılması

iii. Doğrusal hareketten çevresel harekete geçilmesi, merkezkaç kuvvetinden yararlanılması

Prensip 15: Dinamiklik

i. Herhangi bir madde, dış çevre veya prosesin tasarım veya karakteristiklerin, optimum değişimi göstermelerinin sağlanması veya optimum koşulları bulmalarının sağlanması

ii. Bir objenin, birbirlerine oranla hareket etmelerinin sağlanması

iii. Bir madde (veya proses) sabit ise, onun esnek olmasının sağlanması

Prensip 16: Kısmi veya fazladan yapılmış işlem

i. Eğer çözümün %100'üne belirlenen bir yöntem ile ulaşmak zor ise, o yöntemin "azıcık daha fazla" veya "azıcık daha az" gerçekleştirilerek çözümün kolaylaştırılması

Prensip 17: Başka bir boyuta geçiş

i. Bir objenin herhangi bir hat üzerinde hareket etmesi ile ilgili sorunların, objenin iki boyutta (bir düzlemde) hareket etmesi ile çözülmesi. Aynı şekilde, iki boyutlu düzlemdeki sorunların, üç boyuta geçilerek çözülmesi

ii. Tek katmanlı yapı yerine çok katmanlı yapının kullanılması

iii. Objenin yatay düzleme olan açısının değiştirilmesi veya tamamen yan tarafına yatırılması

iv. Bir alanın tamamen başka bir tarafının kullanılması

v. Yan bölgelerde olan ve ilgili bölgenin görülebildiği alanların kullanılması veya alanın ters tarafının kullanılması.

Prensip 18: Mekanik titreşim

i. Bir maddenin titreştirilmesi veya periyodik hareket haline sokulması

ii. Eğer periyodik hareket mevcut ise, frekansının arttırılması

iii. Objenin rezonans frekansının kullanılması

iv. Mekanik yerine piezoelektrik titreştiricilerin kullanılması.

v. Ultrasonik ve elektromanyetik yöntemlerle titreşimin sağlanması.

Prensip 19: Periyodik hareket

i. Sürekli bir hareket yerine, periyodik hareket kullanılması

ii. Eğer hareket zaten periyodik ise, frekansının veya şiddetinin değiştirilmesi

Prensip 20: Faydalı işlemin devamlılığı

i. Bir objenin tüm parçalarının, faydalı veya nötr fonksiyonlarını sürekli gerçekleşmesinin sağlanması

ii. Tüm boş ve ara işlemlerin kaldırılması

Prensip 21: Acele etme

i. Bir prosesin, veya bir prosesin belirli kademelerinin (örn: zararlı olan kademeler) yüksek hızlarda gerçekleştirilmesi

Prensip 22: Zararın yarara dönüştürülmesi

i. Zararlı unsurların (özellikle dış çevreye verilenler) faydalı etki yaratmalarının sağlanması

ii. Birincil zararlı fonksiyonun, başka bir zararlı fonksiyona eklenerek, yok edilmesi

iii. Zararlı bir fonksiyonun, etkisinin, fonksiyon zararlı olmayana dek arttırılması

Prensip 23: Geri besleme

i. Bir proses veya hareketin geliştirilmesi için geri beslemenin gerçekleştirilmesi

ii. Eğer geri besleme zaten mevcut ise, etkisinin veya derecesinin değiştirilmesi

Prensip 24: Arabulucu

i. Herhangi bir ara elemanın veya ara prosesin kullanılması

ii. Bir objenin geçici olarak başka bir obje ile birleştirilmesi (birleştirilen objenin, kolay bir şekilde tekrar ayrıştırılabilmesi koşuluyla)

Prensip 25: Self-servis

i. Bir objenin, yardımcı fonksiyonlar gerçekleştirerek, kendi kendine yardım etmesinin sağlanması

ii. Objenin, kendini düzenleyerek veya kendi bakımını yaparak, ek faaliyetler gerçekleştirmesinin sağlanması

iii. Artan ve fazlalık olan kaynakların, enerjinin veya maddenin kullanılması

Prensip 26: Kopyalama

i. Bulunamayan, pahalı veya hassas objeler yerine, basit ve ucuz kopyalarının kullanılması

ii. Bir obje ve prosesin kopyaları ile değiştirilmesi

iii. Eğer görünür optik kopyalar kullanılıyorsa, onların kızıl ötesi veya ultraviyole kopyalara dönüştürülmesi

Prensip 27: Ucuz kısa ömürlü nesneler

i. Pahalı bir objenin, belirli özelliklerden feragat ederek çok sayıda ucuz obje ile değiştirilmesi (örn: servis ömrü)

Prensip 28: Mekanik alanın değiştirilmesi

i. Mekanik yöntemlerin, algısal (optik, akustik, vs.) yöntemler ile değiştirilmesi

ii. Elektrik, manyetik veya elektromanyetik alanların, obje ile etkileşim halinde olmalarının sağlanması

iii. Statik alanlardan, hareket halinde olan alanlara geçilmesi, dağınık alanlardan düzenli alanlara geçilmesi

iv. Alanların, alanlar ile birlikte aktive olan partiküller ile kullanılması (örn: ferromanyetik)

Prensip 29: Pnömatik veya hidrolik yapılar

i. Bir objenin katı fazı yerine gaz veya sıvı fazlarının kullanılması

ii. Arşimet kuvvetlerinin, bir objenin ağırlığını azaltmak için kullanılması

iii. Eksi atmosfer veya basıncın kullanılması

iv. Bir köpük malzemenin, sıvı ve gazın birleşimi olarak, her ikisinin özelliklerini kısmen taşıyan hafif bir malzeme olarak kullanılması

Prensip 30: Esnek kabuklar veya ince filmler

i. Üç boyutlu yapılar yerine, esnek kabukların veya ince filmlerin kullanılması

ii. Objenin, esnek kabuklar veya ince filmler kullanılarak, dış çevreden izole edilmesi

Prensip 31: Gözenekli malzemeler veya membranlar

i. Bir objenin gözenekli hale getirilmesi veya gözenekli elemanların eklenmesi

ii. Eğer bir obje zaten gözenekli ise, bu gözeneklerin faydalı bir madde veya işlev için kullanılması

Prensip 32: Rengin değiştirilmesi

i. Bir objenin veya objenin dış çevresinin renginin değiştirilmesi

ii. Bir objenin veya objenin dış çevresinin şeffaflığının değiştirilmesi

iii. Zor gözlenen objeler veya proseslerin izlenmesi için, renkli katkı maddelerin kullanılması. Eğer bu tür maddeler zaten kullanılıyorsa, fosforlu maddeler kullanılması

Prensip 33: Homojenlik

i. Herhangi bir obje ile etkileşim halinde olan diğer objelerin, aynı malzemeden yapılması

Prensip 34: Parçaların atılması veya yenilenmesi

i. Objede, işlevlerini yerine getiren parçaların atılması (ör: eritilerek, buharlaştırılarak, vs.) veya bu parçaların doğrudan operasyon sırasında modifiye edilmesi

ii. Tam ters şekilde, objenin tükenen kısımlarının tekrar yerine getirilmesi

Prensip 35: Cismin fiziksel ve/veya kimyasal halinin değiştirilmesi *(TRIZ'de en sık kullanılan prensip)*

i. Herhangi bir objenin fiziksel halinin değiştirilmesi

ii. Konsantrasyonun veya istikrarlılığın değiştirilmesi

iii. Esneklik derecesinin değiştirilmesi

iv. Sıcaklığın değiştirilmesi

v. Sistemin başka unsurlarının değiştirilmesi

Prensip 36: Faz dönüşümleri

i. Faz dönüşümleri esnasında gerçekleşen fenomenlerden faydalanılması (örn: hacim değişimleri, ısı kaybı, vs.)

Prensip 37: Termal genleşme

i. Malzemelerin termal genleşme veya büzülme özelliklerinin kullanılması

ii. Eğer termal genleşme kullanılıyorsa, farklı genleşme katsayıları olan birden çok malzemenin kullanılması

Prensip 38: Güçlü oksitleyicilerin kullanılması

i. Havanın, oksijen içeriği yüksek hava ile değiştirilmesi

ii. Oksijen içeriği yüksek havanın, saf oksijen ile değiştirilmesi

iii. Hava veya oksijenin, iyonize radyasyona maruz bırakılması

iv. İyonize edilmiş oksijen kullanılması

v. İyonize edilmiş oksijenin, ozon ile değiştirilmesi

Prensip 39: İnert atmosfer

i. Normal atmosferin, inert atmosfer ile değiştirilmesi

ii. Nötr parçaların veya inert katkıların objeye eklenmesi

Prensip 40: Kompozit malzemeler

i. Homojen malzemelerden kompozit malzemelere geçilmesi

Bu prensiplerin tümüne örnek vermek, bu tezin kapsamı dışında kalmaktadır. Ancak, en sık kullanılan beş prensip için bazı örnekler verilecektir. Sık kullanım sırası, her ne kadar Altschuller'in çalışmaları sonrasında çıkarılmış olsa da, 2003 yılında yapılan bir çalışma[13], teknolojik evrim ile beraber prensiplerin kullanım sıklıklarının da değiştirdiğini göstermektedir. Tablo 2.4, bu değişimi göstermektedir:

Tablo 2.4 : Prensiplerin kullanım sıklıklarındaki değişimin karşılaştırılması[13]

Prensip	Klasik	Matris	Değişim
1	3	7	-4
2	5	5	-
3	12	2	+10
4	24	10	+14
5	33	12	+21
6	20	27	-7
7	34	17	+17
8	32	37	-5
9	39	24	+15
10	2	8	-6
11	29	39	-10
12	37	19	+18
13	10	3	+7
14	21	15	+6
15	6	14	-8
16	16	28	-12
17	19	9	+10
18	8	25	-17
19	7	11	-4
20	40	40	-
21	35	32	+3
22	22	36	-14
23	36	33	+3
24	18	6	+12
25	28	13	+15
26	11	23	-12
27	13	35	-22
28	4	4	-
29	14	26	-12
30	25	22	+3
31	30	16	+14
32	9	21	-12
33	38	38	-
34	15	31	-16
35	1	1	-
36	27	30	-3
37	26	20	+6
38	31	34	-3
39	23	29	-6
40	17	18	-1

Listeler incelenirse, en sık kullanılan 5 prensip: 35, 3, 13, 28, 2. Şimdi bu beş prensip için örnekler verilecektir [10].

2.2.5.2 En Sık Kullanılan 5 Prensip

Prensip 35: Cismin fiziksel ve/veya kimyasal halinin değiştirilmesi

- Sıcaklığın Curie noktasının üzerine çıkarılarak, bir malzemenin ferromanyetik özellikten paramanyetik özellik sergilemesinin sağlanması.
- İçi dolu çikolataların, içlerinin önce dondurulması ve sonra sıcak çikolataya daldırılması.
- Oksijen veya nitrojenin taşınma sırasında daha az yer kaplamak için gaz yerine sıvı olarak taşınması.

Prensip 3: Bölgesel Kalite

- Isı ileten bir delici kısımdan ve ısıya dayanıklı bir gövdeden oluşan, ultrasonik matkap.
- Silgili kalem

Prensip 13: Tersine çevirme / tersyüz etme

- Yürüyen merdiven (insan sabit, merdiven hareketli)
- İç içe geçmiş ve sıkışmış parçaların, dışını ısıtmaktansa içinin soğutulması.
- Parça yerine, aletin çevrilmesi.

Prensip 28: Mekanik alanın değiştirilmesi

- Bilgisayar farelerinde kullanılan top yerine, kızıl ötesi ışıktan faydalanmak.
- İki pudranın karıştırılması için, mekanik bir yöntem yerine, birini negatif ve diğerini pozitif yükleyerek, elektrostatik alanın kullanılması.
- Termoplastik malzeme ve metal kaplama arasındaki bağ gücünün arttırılması için, prosesin elektromanyetik alan içerisinde gerçekleştirilmesi.

Prensip 2: Çıkarma

- Ses çıkaran bir kompresörün, kullanıldığı binanın dışına yerleştirilmesi.
- Fiber optik kabloların, ışığı kaynaktan, ışığa ihtiyacı olan yere götürmesi

Matris 2003 çalışmasında aynı zamanda, prensipler arası değişim de belirtilmiştir[13]. En fazla yükselen, 5 prensip: 5, 12, 7, 25, 9 maddeleridir. Genel olarak bakılırsa, maddelerin arasında kombinasyon, eşit potansiyel enerji, uzay hiyerarşisi ve self-servis bulunmaktadır. Bu da son derece önemli bir yorumu beraberinde getirmektedir: Mühendislik sorunları, ve onları takip eden çözümler, hep entegre olma, kendi kendini iyileştirebilme mantığı üzerine kurulmaya başlanıyor. Yani, insan ile olan ara yüz basitleşiyor, obje içindeki sistemler ise bu basitliği yönetebilecek şekilde geliştiriliyor. Otomotiv sektöründe, arabaların elektronik aksamındaki artış, bunun birebir göstergesidir. Aynı gelişim, yazılım için de geçerli. Gittikçe insan ile etkileşim basitleşiyor ve arka plandaki uygulamalar, pek çok hizmeti aynı anda verebilecek şekilde kurgulanıyor.

Yalnız bu noktada çok önemli bir olguya değinmek gerekmektedir: Belirli bir yaratıcılık yeteneği veya zekası ile yapılmış buluşların veya geliştirmeler için, *yorumlama* yoluyla "burada X prensibi kullanılmıştır" demek, yalnızca bir irdeleme mantığı olmak ile sınırlı kalır. Oysa, TRIZ'in bu noktadaki amacı, bir problem veya çelişki ile karşılaşıldığında hangi prensibin kullanılması gerektiğine ışık tutabilmektir. Bu durumda da, "40 Buluşçu Prensip"in aslında tek başına bir araç olmadığı, bir sonraki bölümde anlatılan "39 Mühendislik Çelişkisi" ile birlikte kullanıldığını belirtmek gerekmektedir.

2.2.5.3 39 Mühendislik Parametresi

Tüm mühendislik problemleri, belirli çelişkiler içerir. İlk bölümlerde yapılan tanımlamalar göz önüne alınırsa, TRIZ'in asıl amacı, bu çelişkileri doğrudan hedef alıp, optimum çözüm yerine ideal olarak tanımlanan çözüme ulaşmaktır. Bundan sonra anlatılacak araçların amaçları, işte bu çelişkilerin net bir şekilde ifade edilmesini sağlamak ile ilgilidir. Pek çok ARGE bölümünde karşılaşılan "Biz bunu yapmayı zaten biliyoruz" türü açıklamalar, maalesef hala "organizasyonel miyop" olarak tanımlanan kavramın oluşturduğu zihinsel ataletten ötürü başka bir şey değildir[10].

Altshuller, bu çelişkileri tanımlamak amacıyla, standart bir parametre dizisi çıkarmak gerektiğini algılamıştır. Yani, "X azaldığında, Y zarar görüyor" gibi net bir çelişki ifadesi kullanmak için, problemin süzgeçlerden geçirilerek belirli standart X'ler ve

Y'ler halinde ifade edilebilmelidir. İşte bu X ve Y'ler, "39 Mühendislik Parametresi" olarak anılmaktadır ve Tablo 2.5'te belirtilmiştir.

Tablo 2.5 : 39 Mühendislik Parametresi [10]

1	Hareket halindeki nesnenin ağırlığı	21	Güç
2	Durağan haldeki nesnenin ağırlığı	22	Enerji israfı
3	Hareket halindeki nesnenin uzunluğu	23	Madde israfı
4	Durağan haldeki nesnenin uzunluğu	24	Bilgi israfı
5	Hareket halindeki nesnenin alanı	25	Zaman israfı
6	Durağan haldeki nesnenin alanı	26	Malzeme miktarı
7	Hareket halindeki nesnenin hacmi	27	Güvenilirlik
8	Durağan haldeki nesnenin hacmi	28	Ölçümün doğruluğu
9	Hız	29	Üretimin doğruluğu
10	Kuvvet	30	Nesneye etki eden zararlı unsurlar
11	Gerilme, basınç	31	Zararlı yan etkiler
12	Şekil	32	Üretilebilirlik
13	Nesnenin istikrarlığı	33	Kullanım kolaylığı
14	Mukavemet	34	Tamir edilebilirlik
15	Hareket halindeki nesnenin dayanıklılığı	35	Uyumluluk
16	Durağan haldeki nesnenin dayanıklılığı	36	Cihazın karmaşıklığı
17	Sıcaklık	37	Kontrolün karmaşıklığı
18	Parlaklık	38	Otomasyon seviyesi
19	Hareket halindeki nesnenin harcadığı enerji	39	Verimlilik
20	Durağan haldeki nesnenin harcadığı enerji		

Bundan önceki bölümlerde tanımlanan "obje"nin sahip olabileceği parametreler, Tablo 2.5'te belirtilen "39 Mühendislik Parametresi"'dir. Fakat, tabloda sıralanan parametrelerin çelişki olarak belirtilmesi için bir matris içerisinde yer almaları gerekir. Yani, yukarıdan aşağı tüm çelişkiler yazılır, ve yine hepsi soldan sağa doğru

yazılır. Örneğin, "objenin ağırlığının artması durumunda hızı azalıyor" gibi çok basit bir çelişki için – ki sorunun asıl tanımlama cümlesini karmaşık problemler için bu kadar yalın bir hale indirgemek asıl başarıdır - iki çelişki bulunmaktadır: Ağırlık ve hız. Bu noktada, bahsedilen bu matrisin bir kısmını gösteren Tablo 2.6'ya bakmak gerekmektedir.

Tablo 2.6 : 39 Mühendislik Parametresinin Bir Kısmının Matris Gösterimi [14]

AZALAN/KÖTÜLEŞEN ÖZELLİK → / ↓ ARTAN/GELİŞEN ÖZELLİK	Hareket halindeki objenin ağırlığı	Durağan objenin ağırlığı	Hareket eden objenin uzunluğu	Durağan objenin uzunluğu
	1	2	3	4
Hareket halindeki objenin ağırlığı	+	-	15, 8, 29,34	-
Durağan objenin ağırlığı	-	+	-	10, 1, 29, 35
Hareket eden objenin uzunluğut	8, 15, 29, 34	-	+	-
Durağan objenin uzunluğu		35, 28,	-	+

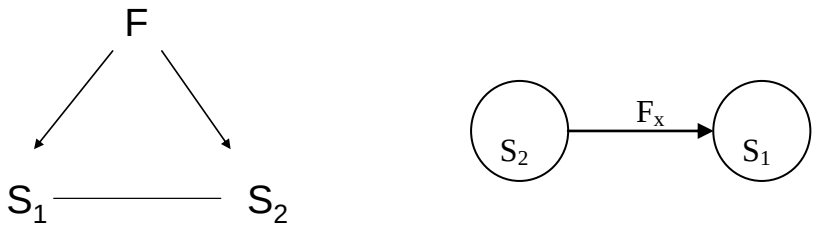
Matris tablosundan, yorumlama şöyle yapılabilir: Artan (veya gelişen) özellik, "ağırlık"tır ve yukarıdan aşağıya doğru bulunur. Soldan sağa doğru ise azalan (veya zarar gören) parametre bulunur. Karelerin içindeki sayılar da, bu çelişkinin, 40 Buluşçu Prensip arasından hangileri vasıtasıyla çözülebileceğini gösterir. Bir önceki cümle son derece önemli bir ifade içermektedir. Yapılacak olan ARGE çalışmalarına, daha hiç deneysel çalışama yapılmadan, genel olarak bir yön verilebilmektedir. İlk bölümlerde anlatılan çözüm uzayı mantığı, işte burada devreye girmektedir. ARGE'de en önemli adımlar, her yeni süreçte olduğu gibi ilk atılanlardır. Daha en başta, muhtemel olarak hangi konular üzerine eğilinmesi gerektiği, istatistiksel olarak ortaya konulan bu tablo vasıtasıyla belirlenmiştir. Bundan önce yapılan pek çok mühendislik çalışmasının öğrenme eğrileri, deney öncesi sorun çözme kademesine entegre edilebilmektedir.

Bu durumda, şu sorunun sorulması gerekmektir: TRIZ Tablo 2.6'dan mı ibaret? Bütün öğreti yalnızca bir matris mi? Cevap hayır. Yukarıdaki paragrafta da belirtildiği gibi, karmaşık mühendislik sorunlarını yalın çelişkiler ile ifade etmek çok güçtür. Şöyle ki, yanlış veya eksik bir tanımlama, çalışmaların tamamen yanlış yönlere sapmasına sebebiyet verebilir. Bu, TRIZ metodolojisi kullanılsa da kullanılmasa da geçerlidir. Dolayısıyla, TRIZ araçları yalnızca bu matris değil, aynı zamanda bundan sonra anlatılacak olan, sorun netleştirici ve tanımlayıcı olarak sınıflandırılabilecek araçlardır.

2.2.5.4 Madde-Alan Analizi

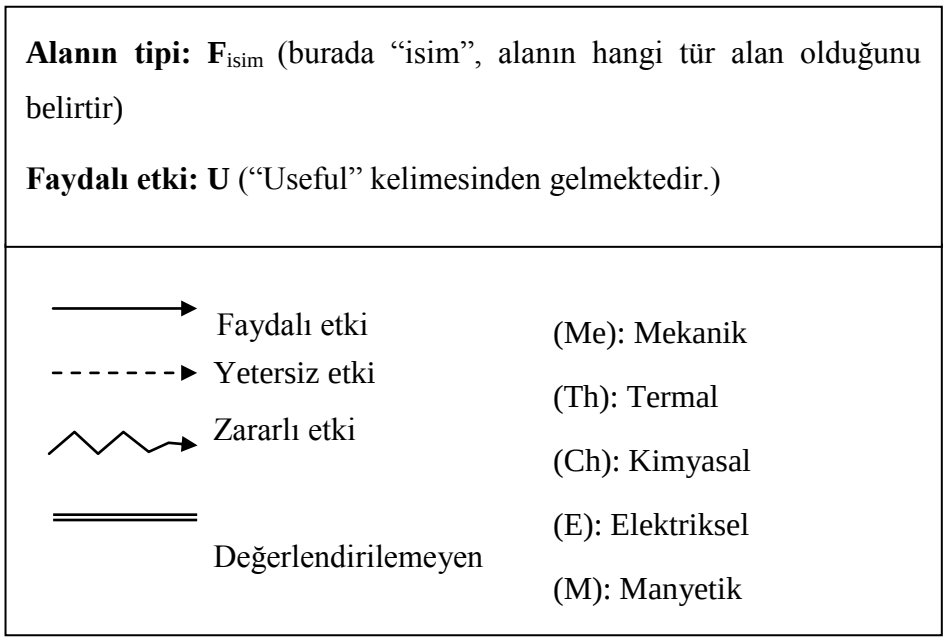
Bu araç, tamamen objeler (madde) ve alanlar (obje üzerinde etkisi tüm etkenler) arasındaki etkileşimleri göstermek amacıyla kullanılır. Daha önce de bahsedilen "sorunu berrak bir şekilde tanımlama" mantığı söz konusudur. İngilizce karşılığı Substance-Field Analysis olan bu teknik, aynı zamanda kısaltılmış olarak Su-Field Analyis diye de belirtilebilir.

Şekil 2.9., Madde-Alan analizi ile yapılmış bir gösterimin neye benzediğini belirtmektedir. "F" alanı, S_1 bu alandan etkilenen ürünü ("Ürün / Obje") ve S_2 de etkiyi yaratan aracı ("Araç") belirtmektedir.



Şekil 2.9 : Basit Madde-Alan gösterimleri [10]

Burada S ile belirtilen, basit veya karmaşık herhangi bir obje veya madde için kullanılabilir. Alan olarak kullanılan gösterimler ise, Şekil 2.10.'da belirtildiği gibi değişim gösterebilmektedir (gösterimde bu şekil ile kısıtlı kalınmamalıdır, gösterimde standardizasyon maalesef tam olarak netleşmediğinden, pek çok makalede farklı bir şematik kullanılmış olabilir).

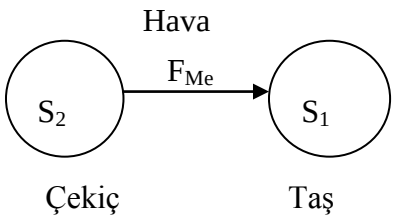


Şekil 2.10 : Madde-Alan analizinde kullanılan gösterim[15]

Madde-alan analizinin temeline inilirse, mantığın asıl başlangıç noktası TRIZ'den değil, Ouspensky isimli bir matematikçiden gelmektedir. Üçgen, trigonometrinin temel yapı taşı olmak ile beraber, teknik sistemlerin de temelini oluşturmaktadır. Yani, tam bir sistem, en az tamamlanmış bir üçgen içerir. Bu araç içerisindeki akış, dört ana kademeden oluşur[10]:

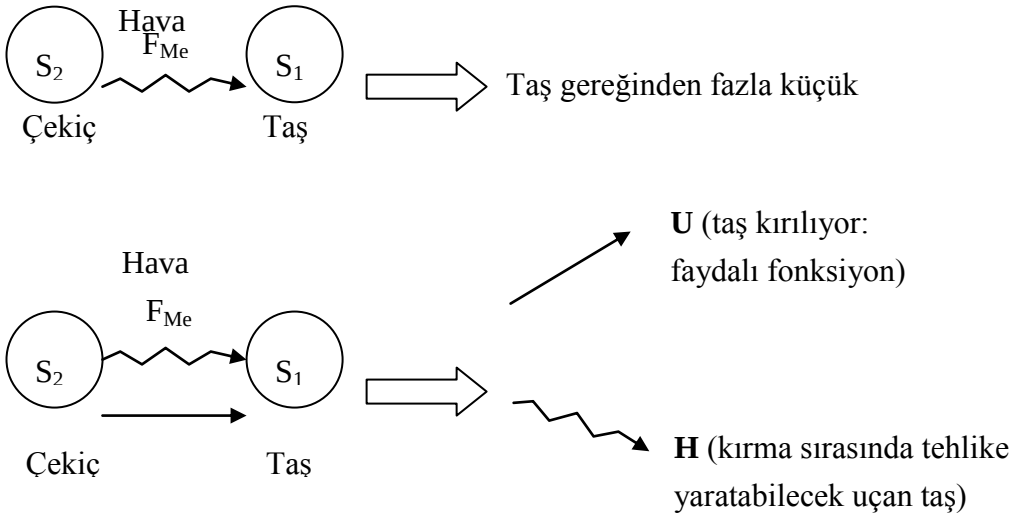
1. Unsurların (maddeler ve etki/alanlar) tanımlanması
2. Modelin oluşturulması
3. 76 standart çözümün (ayrıca bir araç olarak anlatılmaktadır) oluşturulan model bazında incelenmesi
4. Çözümü destekleyen bir konseptin yaratılması (özellikle 3. ve 4. bölümlerde, başka araçların da kullanılması söz konusudur)

Madde alan analizinin gösteriminin anlaşılması için, basit bir örnek üzerinden sistematiği anlatmak mümkündür[15]. Örneğin, hidrolik bir çekicin, bir taşı kırması örnek alınabilir. Burada üç unsur söz konusudur: Çekiç (etkiyi gerçekleştiren obje), taş (etkilenen obje) ve mekanik etkiyi gerçekleştiren basınç altındaki hava.



Şekil 2.11 : Çekiç-Taş örneği için Madde-Alan gösterimi [15]

Şekil 2.11. incelendiğinde, sisteme pek çok farklı yorum getirilebilir. İlk olarak, havayı sıkıştıran mekanizma için ayrıca bir şematik gösterilip, onun etkileşimi belirtilebilir. Bu tür gösterimlerde, birden çok "üçlü sistem" in hangi etkilerden başlayarak hangi sonuçları doğurduklarını belirtmek mümkündür. Aynı şekilde, hava-çekiç örneği için, zararlı fonksiyonlar da gösterilmelidir. Şekil 2.12. bunu belirtmektedir:



Şekil 2.12 : Hava Çekiç Örneği İçin zararlı Fonksiyonların Gösterimine Örnek[15]

Neticede, Madde-Alan analizi, ideal çözüm ve bu çözümü sınırlayan çelişkilerin net bir şekilde belirtilerek, problem üzerinde çalışan kişi veya takımın sorunu her açıdan görmelerini ve mühendislik bilgilerini bu gösterim ışığında uygulamalarını sağlamayı amaçlamaktadır.

2.2.5.5 76 Standart Çözüm

Bu TRIZ aracı, Altschuller ve onunla birlikte çalışanlar tarafından 1975-1985 yılları arasında geliştirildi. Madde Alan analizi ile ilgili bölümde de belirtildiği gibi, bu iki araç iç içe olarak kullanılmaktadır. Her ne kadar isminde "76" rakamı geçse de,

aslında 86 standart çözüm mevcuttur. Bu çözümler, 40 prensip kadar önemlidir çünkü Madde – Alan ile doğru kurgulanmış bir teknik sisteme, aynen 39 teknik çelişki ile doğru yapılandırılmış bir soruna 40 prensibin gösterdiği yol gibi, yön verebilirler[10].

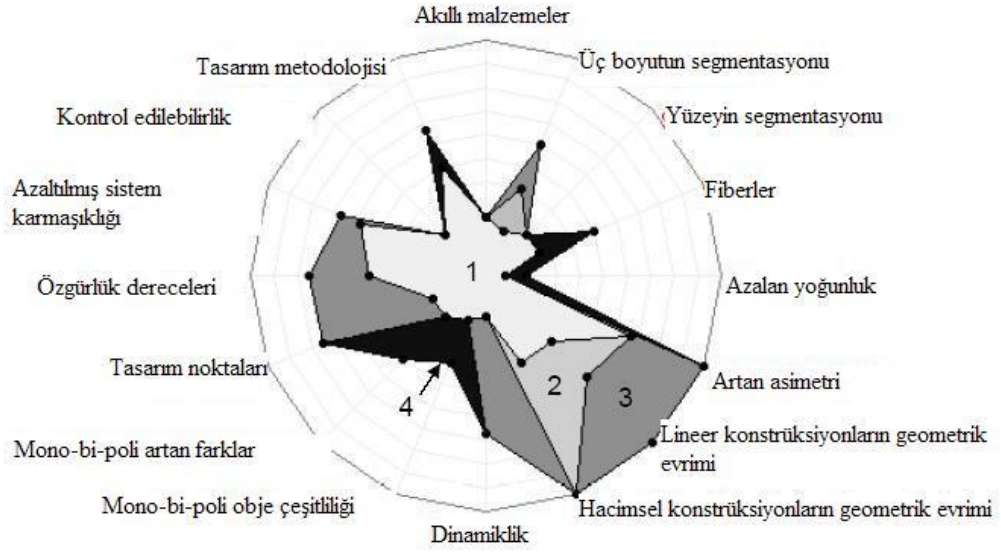
Genel olarak 5 kategoride sınıflandırılırlar:

1. Madde-Alan sistemlerinin Yapılandırılması ve Yok Edilmesi
2. Madde Alan'ların geliştirilmesi
3. Süper-sisteme ve mikro seviyeye dönüşüm
4. İzleme ve ölçme ile ilgili standartlar
5. Standartların kullanımı ile ilgili standartlar

Standartların hepsine birer örnek vermek, bu çalışmanın kapsamında değildir ancak her biri için örnek ve standart çözümün hangi prensip ile bağlaşık olduğu kaynaklar mevcuttur [10] .

2.2.5.6 Teknolojik Evrim ve Patent Araştırması

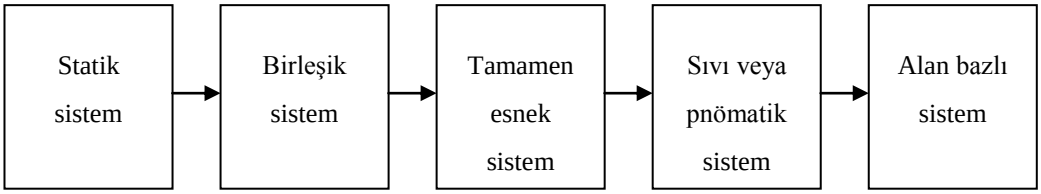
TRIZ'in en büyük avantajlarından biri, tüm çelişkilere ve çözümleri, hem detayları itibariyle hem de genel yapı itibariyle inceleyebilmesidir. İşte bu bütünlük, çözüm arayışında olan bilim adamlarını veya mühendisleri, öncelikle doğru yöne bakmalarını sağlar. Bu doğrultuda, ilgilenilen teknik sistem için, hangi yönde "evrim" gösterdiği çıkarılabilmektedir[16]. Öncelikle patent araştırması ile başlayan bu araç, teknik sistemin veya prosesin, hangi yöne doğru potansiyel olarak gelişebileceğini göstermektedir. Şekil 2.13, gaz türbinlerindeki fan teknolojisi için yapılan böyle bir çalışmayı göstermektedir:



Şekil 2.13 : Gaz türbin fanları için teknolojik evrim[17]

Şekilde görüldüğü gibi, birden çok eksen mevcuttur. Normalde, 35 tane evrim yönü mevcuttur ancak, her yapılan çalışma için 35 skala olmak zorunda değildir. Her eksen, kendi içerisinde bir puanlamaya veya skalaya sahiptir. Ancak, nitel unsurlara nicel değerler verildiği her mühendislik uygulamasında olduğu gibi (örneğin FMEA veya KFG), sayısallaştırma sürecinde yine önemli olan konu üzerindeki bilgi hakimiyetidir. Bir olgudaki gelişime neden "3" değil de "4" verildiği ile ilgili tartışmalar, sorunu çözmek ile yükümlü ekip arasında tartışılıp sonuçlandırılmalıdır. Burada, KFG'de kullanılan, paretto prensibini kullanan yaklaşımdan faydalanılabilir: Takım (eğer yalnızca bir kişi çalışmıyorsa – TRIZ'de, KFG'de olduğu gibi takım çalışması olmazsa olmaz olarak nitelendirilen kurallardan biri değil) öncelikle üzerinde anlaştığı konuları ortaya koymalıdır. Bunlar, genellikle ilgili parametrelerin %80'ini teşkil eder. Daha sonra, %20'lik dilim üzerine yoğunlaşılarak, neden böyle bir farklılık olduğu tartışılabilir.

Şekil 2.13'teki araştırma incelemeye alınırsa, öncelikle, her bir skala, aslında bir evrimsel yönü gösterdiği belirtilmelidir. Örneğin, "dinamiklik" olarak belirtilen skala, kendi içerisinde Şekil 2.14'teki gibi kademelendirilir.



Şekil 2.14 : "Dinamiklik" için evrim şekli[17]

Burada, "3" olarak yapılan bir seviyelendirme, "Tamamen esnek sistem"e tekabül etmektedir. Her evrim için böyle bir şematik oluşturulmalıdır, çünkü daha önceki bölümlerde anlatılan "Çözüm Seviyeleri"ndeki sistematik baz alınmaktadır. Bu şekilde, sistemin, hangi yönde gelişebileceği de saptanabilmektedir.

Şekil 2.13'te belirtilen 1,2,3 ve 4 numaralı alanlar ise, fan teknolojisindeki "sınıf"ları veya çeşitleri belirtmektedir. 1, ilk çıkan fanların hangi özelliklere sahip olduğu, 2, bu yönden hangi yöne doğru gelişim gösterdiği, vs. Böylece çeşitli teknolojik gelişmelerin, niye teker teker değil de bir arada geliştiği de incelenebilmektedir.

2.2.6 ARIZ

ARIZ, Rusça "Yaratıcı Problem Çözme Algoritması" demektir ve karmaşık sorularda kullanılması gereken bir yol haritasıdır. Son derece kapsamlı bir kontrol listesi olarak düşünülebilecek bu yöntem, aslında bundan önce anlatılan araçlardan bağımsız bir olgu değildir[10].

ARIZ, önceki bölümlerde anlatılan TRIZ'in yalnızca bir "yorumlama" veya "beyin jimnastiği"nden ibaret olmadığı düşüncesini, buluşçuluk için sistematik bir yol haritası sunarak üstesinden gelmektedir. Birden fazla versiyonu vardır, ve oldukça uzun bir sorgulama içerir. Yalnızca çok karmaşık sorunlar için kullanılır, ve zaman kısıtı söz konusu olduğunda başlı başına bir sorun haline gelebilir.

ARIZ-85C, versiyonlar arasında nihai olarak kabul edilenlerden biridir. Dokuz kademeden oluşmaktadır ve bu kademeler aşağıda belirtildiği gibidir[10]:

2.2.6.1 Sorunun Analiz Edilmesi

Bu kademde, sorunun görüldüğü yerdeki sistem betimlenir. Her çok kademeli operasyonda olduğu gibi, ilk "tanımlama" kademesi olduğundan, geri kalan kurgunun, doğru bir mantıksal dizgede devam edebilmesi için, bu adım en büyük önemi taşır. Burada, genellikle net olmayan cümlelerle belirtilen sorun, TRIZ'in

tanımlar kısmında anlatılan teknik proses ve teknik sistem olarak sınıflandırılmalıdır. Belirgin olan teknik çelişki de açık bir şekilde ifade edilmelidir.

2.2.6.2 Problem'in Modelinin Analizi

Analiz kademesinde, sorunun çözümü için kullanılabilecek bütün kaynaklar belirlenmelidir. TRIZ'in temel tanımında yer alan "minimum kaynak artışı" ile "çelişkilerin yenilmesi", bu adımın odak noktasıdır. Kaynaklar belirlendikten sonra, genel sorun tanımlaması yapılmalıdır. Yani, TRIZ metodolojisinin bireysel sorunu genel sorun haline getirme olgusu burada gerçekleştirilir.

2.2.6.3 Mükemmel Nihai Çözüm ve Fiziksel Çelişkilerin Belirlenmesi

3. kademede, 1. adımda ortaya atılan çelişki irdelenir, ve 2. kademede genelleştirilen sorun çerçevesinde, asıl ulaşılmak istenen "Mükemmel Nihai Çözüm" ortaya konulur. Bunu takiben, ana fiziksel çelişki belirlenerek, bu ideal çözümün önündeki asıl engel tespit edilir. Genel olarak, ilk üç kademe, çeşitli bakış açılarından sorun tanımlama ile ilgilenmektedir, dolayısıyla Sorunun Analiz edilmesi bölümünde gösterilen hassasiyet, burada da gösterilmelidir.

2.2.6.4 Madde-Alan Çerçevesindeki Kaynakların Kullanımı

Sorunun çözülmesi için, madde alan analizi vasıtasıyla, var olan tüm kaynakların nasıl etkin bir şekilde kullanılabileceği tespit edilir.

2.2.6.5 Bilgi Kaynaklarının Kullanımı

Madde-alan kaynaklarından sonra, bilgi kaynaklarının (örn: gerçekleşen dönüşümler, teknik proses sırasında gerçekleşen tepkimeler / fenomenler, vs.) kullanımı söz konusudur. Birey, veya ekip, bu kademede konu hakkındaki bilgisini de sorgular.

2.2.6.6 Sorunun Revize Edilmesi

Genellikle, ilk beş kademe gerçekleştirildikten sonra, sorunun özünde değişiklikler meydana gelecektir. Tekrar tanımlanan çelişkiler, zihinsel ataletin yenilmesi, vs. gibi faktörler, temeldeki tanımlamanın da revize edilmesini gerektirecektir.

2.2.6.7 Çelişkinin Ortadan Kaldırılması

Fiziksel çelişkinin nasıl ortadan kaldırılacağı, sorunun revizyonundan sonraki ilk kademedir. TRIZ'in temel sorun çözme metodolojisinin içerisinde yer alan "genel sorunu genel çözüm haline getirme" kısmı, işte bu adımda yer almaktadır. Amaç, çelişkiyi yenmek için minimum derecede kaynak kullanımının sağlanmasıdır.

2.2.6.8 Elde Edilen Çözümün Uygulanması

Bu kademede, Şekil 2.6'da belirtilen "genel çözümün, bireysel çözüm haline getirilmesi" kısmının gerçekleştirilmesi söz konusudur. Yani, bir önceki adımda elde edilen genel çözüm, ilgili mühendislik dalında uygulanır. Gerçekten iyi çözümler, aynı uygulama alanında benzer sorunların da nasıl çözülebileceği konusunda fikir verirler.

2.2.6.9 Çözüm Sürecinin Analizi

ARIZ bünyesinde kullanılan metodoloji ve mantıksal dizge, bütünlük açısından gözden geçirilir.

2.2.6.10 ARIZ Sonuç

Sonuç olarak, ARIZ, yalnızca diğer bireysel yöntemlerin tek başına çözemediği yöntemler için kullanılmalıdır. İstatistiksel olarak, sorunların %1'inden daha az bir kısmı bu metodoloji ile çözülmüştür. Ancak, ARIZ ile beraber, pek çok temel TRIZ aracını kullanan birden fazla metodoloji ortaya atılmıştır. Bunların isimleri ASIT, USIT gibi değişim göstermektedir fakat temeldeki yaklaşım, hala sorun çözmenin ve buluşçuluk mantığının sistematize edilmeye çalışılmasıdır.

2.3 İkiz Merdaneli Döküm ve Tane İncelticiler

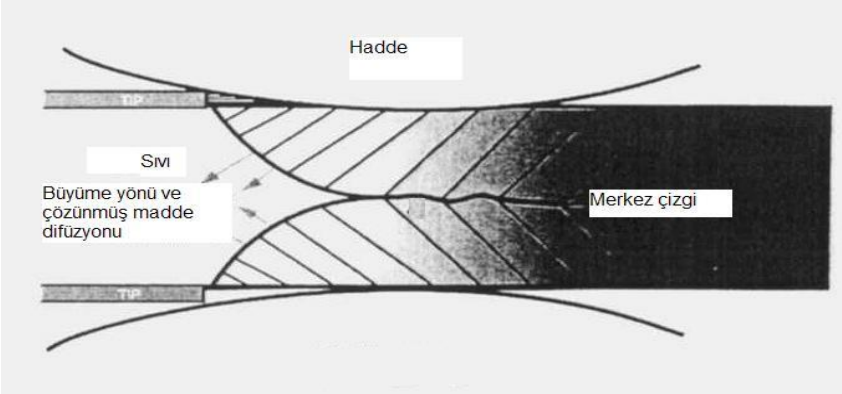
2.3.1 İkiz Merdaneli Döküm Teknolojisi

İkiz merdaneli döküm teknolojisi, yaklaşık 50 yıldır alüminyum sektöründe kullanılmaktadır [18]. Bu teknoloji ile, ergiyik metal doğrudan ikiz merdanelerin içerisinde katılaşarak, katılaşma anında 10mm – 0.5mm arası kalınlıklar elde edilmektedir[18]. Proses, aşağıda belirtilmiş akışta ilerlemektedir:

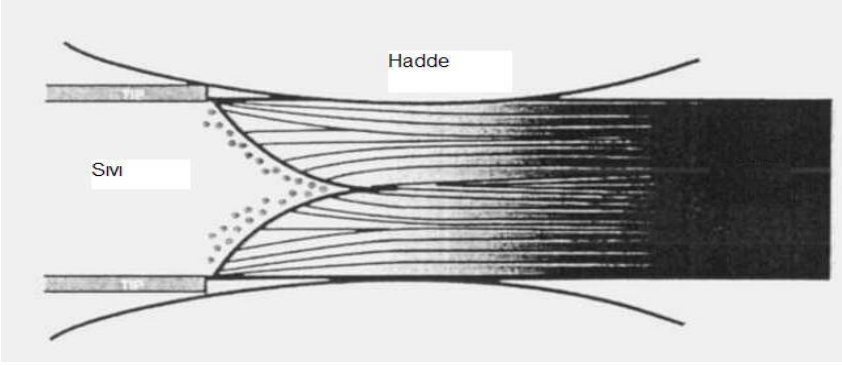
- Ergitme

- Alaşımlandırma
- Gaz giderme
- Tane küçültme
- Ergiyik metal filtrasyon (Tane küçültme ile beraber, Filter Box'da yapılmaktadır)
- İkiz merdanede döküm
- Ürün spesifikasyonlarına göre ısıl işlem ve haddeleme

İkiz merdaneli dökümde, alüminyumun katılaşma usulü, tane inceltici kullanılmadığında ve kullanıldığında, Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'de belirtildiği gibi değişmektedir[19].



Şekil 2.15 : Tane inceltici kullanılmadığında, ikiz merdanelerdeki katılaşma şekli[19]



Şekil 2.16 : Tane inceltici kullanıldığında, ikiz merdanelerdeki katılaşma şekli[19]

Her iki şekilde de son derece açık bir şekilde görülebildiği gibi, tane inceltici kullanılmadığında, doğrudan içleri soğutulan ikiz merdanelerde çekirdeklenme başlıyor ve dolayısıyla her iki taraftan büyüyen sütun yapıları gözleniyor. Dolayısıyla, Şekil 2.15'de orta kısımda belirtilmiş olan yırtılma meydana geliyor. Tane inceltici kullanıldığında ise, doğrudan sıvı-Al / katı-Al ara yüzünde

çekirdeklenme meydana geldiğinden, eş büyüklükteki tanelerin oluşumu söz konusu. Böylece, orta çizgide çapraz bir şekilde büyüyen sütun yapısı yüzünden yırtılmanın oluşma olasılığı azalmaktadır[19].

2.3.2 Tane İncelticilerin Etkisi

Alüminyumda kullanılan tane incelticiler, özellikle de Ti-B-Al bazlı olanlar, 25 yılı aşkın süredir alüminyum sektöründe kullanılmaktadır [20]. Amaç, dökümden önce, katılaşacak olan sıvı alüminyumun içerisine, daha küçük taneli nihai ürün elde edilmesini sağlamak. Tane inceltmenin avantajları [21];

- Daha yüksek besleme hızlarında daha iyi ürün
- Yüksek homojenlik
- Azaltılmış porozite ve sıcak yırtılmanın engellenmesi
- Isıl işleme daha iyi tepki
- Daha iyi mekanik özellikler ve yüksek işlenebilirlik

İkiz merdaneli döküm prosesinde üretilen dövme alaşımları için genel olarak iki tür tane inceltici kullanılmaktadır: Ti-B-Al ve Ti-C-Al. Yapılan araştırmaların çoğunluğu, Ti-B-Al'nin kg/t besleme açısından değerlendirildiğinde daha iyi sonuç verdiğini belirtmektedir [18-21] ancak bazı kaynaklar, belirli alaşım veya proses parametreleri doğrultusunda Ti-C-Al tane incelticilerinin de etkin sonuçlar verdiğini savunmaktadır [22-23]. Günümüzde, tane inceltme amacıyla alüminyumda genellikle 1 mikron boyutlarında TiB_2 halinde 8ppm B bulunmaktadır [24]. Bu sayede, normalde 2500 mikron boyutlarında taneler, eş eksenli halde 200 mikronun altına inebilmektedirler [24]. $TiAl_3$ partikülleri de uygun miktarlarda titanyumun ergiyiğe geçmesine izin veriyorsa (150ppm Ti), o zaman 5ppm'lik B yeterli tane inceltmeyi sağlamaktadır [24].

Dolayısıyla, Ti-B-Al tane yapılarında, tane inceltmeye doğrudan etki eden iki farklı partikül bulunmaktadır [20]. Bunlardan birincisi TiB_2 partikülleridir ve 1 mikronun altında olan boyutlardan 2 mikron seviyelerinde değişim göstermektedirler. Sıvı alüminyumda, katı hallerini korurlar. Diğer partikül ise $TiAl_3$'tür ve 30-50 mikron arası boyutlardadır[21].

Şu an dek yapılan çalışmalar, maalesef tane incelticilerin hangi reaksiyon adımları sonucu tane inceltmeyi sağladıklarını belirlemekte yetersiz kalmıştır [18-24]. Ancak, çekirdeklenme safhasında genel olarak, çözünmüş olan fazın, katılaşma sırasında difüzyon ile sıvıya geçmesinin önemi kabul görmüştür [18-24]. Heterojen çekirdeklenme ile ilk çekirdeklerin oluşumu ve ardından gelen büyüme sırasında, çekirdek yüzeylerindeki katılaşma yüzünden, katılaşma ısısı, ısı enerjisi olarak yüzey etrafına yayılmaktadır [24]. Heterojen çekirdeklenme, kritik çekirdek yarıçapının sağlanması ve serbest enerji farkının, yüzey enerjisini oluşturmaya yeterli olmasına bağlıdır [25-26]:

$$r^*_{heterojen} = \frac{-2\gamma_{sk}}{\Delta G_v} \tag{2.2}$$

$$\Delta G^*_{heterojen} = \frac{16\pi\gamma^3_{sk}}{3\Delta G^2_v} f(\theta) \tag{2.3}$$

Denklem 2.2'de, r^* kritik çekirdek yarıçapı, γ_{sk} yüzey enerjisi, ΔG_v de çekirdeklenmeyi sağlayan itici güç olan serbest enerji farkıdır. Denklem 2.3'de ayrıca, $\Delta G^*_{heterojen}$, heterojen çekirdeklenme için gerekli kritik serbest enerji bariyeri, $f(\theta)$ ise ıslatma açısıdır. ΔG_v, undercooling ve entropi değerlerini de içerir:

$$\Delta G_v = \Delta T \Delta S = \frac{\Delta H_f \Delta T}{T_m} \tag{2.4}$$

Burada ΔT, K olan likidüs sıcaklığının altındaki undercooling, ΔS sıvıdan katıya dönüşümde söz konusu olan entropi değişimi, ΔH_f katılaşmanın entropisi ve T_m ergime sıcaklığıdır[25-26].

Çözünmüş olan elementler, değişen çözünürlük seviyesi sayesinde çekirdek dışında difüzyon ile geçmektedir. Bu da, ötektik altı sıcaklıkta katılaşma (constitutional supercooling) olarak bilinen olguya sebebiyet vermekte ve çekirdek yüzeyleri etrafındaki alanda bulunan sıvı alüminyumun donma sıcaklığı aşağı çekilmektedir. Bu faktör ile beraber, sıvı katı ara yüzünün ilerleme hızı, difüzyon parametrelerini ve sıcaklık gradyanını kantifiye eden denklem 2.5'de belirtilmiştir[26]:

$$\frac{G_L}{R} \geq \frac{-m_L C_0 (1-k)}{k D_L} \tag{2.5}$$

Burada, G_L sıvı-katı ara yüzünün önündeki sıvıdaki sıcaklık gradyanı (K/m), R sıvı-katı ara yüzünün ilerleme hızı (m/s), m_L faz diyagramının eğimi (K/%ağ), k katı bileşiminin sıvı bileşimine olan oranı ve D_L sıvı içerisindeki çözünmüş fazın difüzyon katsayısı (m^2/s)[25].

2.3.2.1 Tane İnceltme Teorileri

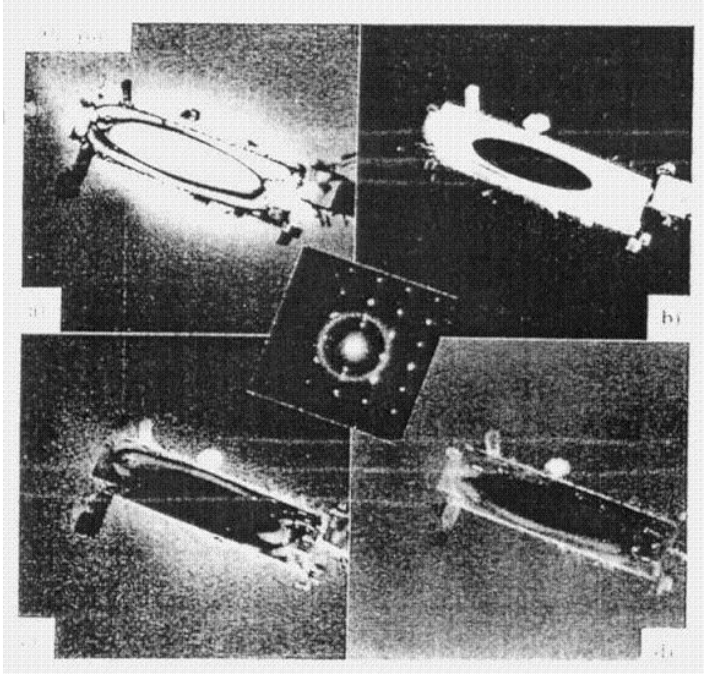
Tane inceltme ile ilgili 3 ana teori bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, Cibula tarafından 1947 yılında öne atılan borür-karbür teorisidir [20,21,24,26]. Buna göre, partiküller arası kristal yapıların uyumu birincil derecede önemli. Dolayısıyla, TiB_2 veya TiC partiküllerinin, tane büyümesini son derece iyi yavaşlatan fazladan titanyum ile birlikte, heterojen çekirdeklenme ile alüminyumun daha ince taneli bir yapıda katılaşması sağlanabilir. Fazladan titanyum, Ti:B oranının 2.2:1 oranına eşit veya fazla olması anlamına gelmektedir. Teori, temelinde doğru olmakla birlikte, yalnızca TiB_2'nin ince (maksimum 1 mikron) olduğu durumlar gibi bazı durumlarda neden tane inceltmenin etkin sonuç vermediğini açıklayamamaktadır.

Cibula'nın teorisine karşıt olarak, Crossley ve Mondolfo tarafından 1951 yılında ortaya konulan peritektik teorisi mevcuttur [20,21,26]. Burada, titanyumun tane büyümesini engelleyen etkisi ile beraber, aynı zamanda $TiAl_3$'ün heterojen çekirdeklenmeyi başlatan partiküller olduğu savunulmaktadır. Bunun, peritektik reaksiyon ile meydana geldiği belirtilmektedir:

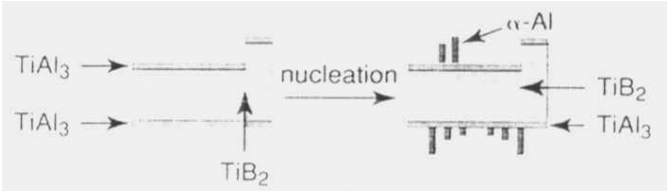
$L + TiAl_3 \rightarrow \alpha\text{-Al}$

Teoriye göre, sisteme B eklenmesi, Al-Ti'de, normalde %0.15 Ti olan peritektik kompozisyonunu %0.05'e indirmektedir. Böylece, $TiAl_3$ düşük titanyum seviyelerinde kararlılığını koruyabilmektedir [26]. Peritektik reaksiyonun yavaş bir şekilde ilerleyerek, performansın gittikçe azalmasının söz konusu olduğu belirtilmektedir [20]. Ancak, $TiAl_3$'ün normal döküm sıcaklıklarında çözünme hızının oldukça hızlı olduğu (40μm/dk) görülmektedir [20]. Al-Ti-B alaşımlarında da çözünme hızında hızlı bir düşme yaşanmamaktadır. Bu olgu göz önünde bulundurularak, teoriye bazı eklemeler yapılmıştır. Bunlardan biri, $TiAl_3$ partiküllerinin TiB_2 partikülleri tarafından yüzeyleri kaplanarak, koruyucu bir tabaka oluşturmaları ile ilgilidir. Ancak, bu teorinin tutarlı sonuçlar vermediği gözlenmektedir [20,21].

Üçüncü teori ise, dupleks teorisi olarak anılmaktadır. Burada, TiB_2 partiküllerinin yüzeylerinin, $TiAl_3$ ile kaplanması sonucu daha iyi bir tane inceltme sağlandığı belirlenmiştir. Ancak, çekirdeklenmenin asıl gerçekleştiği yüzeyin, TiB_2'nin (0001) yüzeyi olduğu, Şekil 2.17 ve Şekil 2.18'de belirtilmiştir [21].



Şekil 2.17 : TEM incelemesinde (0001) yüzeyi $TiAl_3$ kaplı TiB_2 partikülünde katılaşan α-Al [21]



Şekil 2.18 : (0001) yüzeyindeki katılaşmanın şematik gösterimi [21]

Duplex teorisinin gittikçe bilim çevrelerinde daha yaygın kabul görmesi söz konusu olsa da [20,21,27,28], tam olarak bütün reaksiyonu açıklayamadığı için yetersiz olduğunu savunan araştırmacılar da mevcuttur [24, 26].

2.3.2.2 Çekirdek Büyümesinin Sınırlandırılması

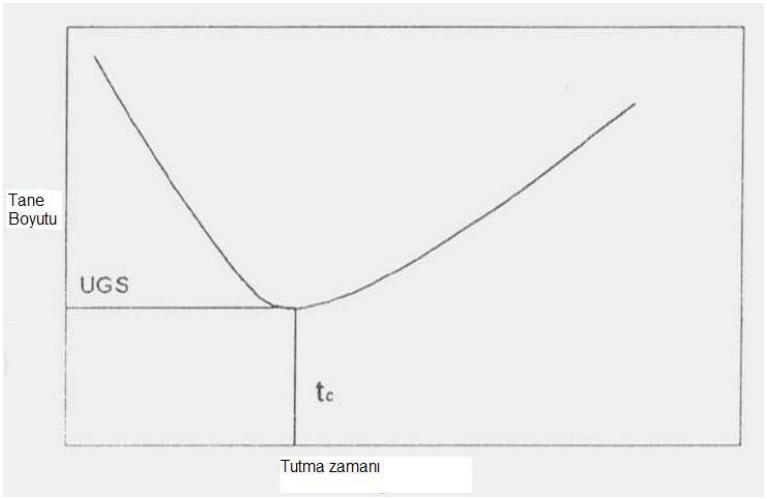
α-Al çekirdeklendikten sonra, çekirdeklerin büyümesi söz konusudur. Daha ince tanelerin sağlanması için, tane incelticilerde büyümeyi sınırlandıran elementler eklenir. Her element için bir büyüme sınırlandırma faktörü mevcuttur (growth restriction factor: GRF)[21]. Bu faktör,

$$GRF = mC_0(k-1) \quad (2.6)$$

şeklinde hesaplanır. Burada m likidüsün eğimi, C_0 konsantrasyon, k ise katı bileşiminin sıvı bileşimine olan oranıdır. GRF değerleri, B için 17, Fe için 2.9, Si için 6.1 ve Ti için 246'dır [21]. Dolayısıyla, alaşım elementleri arasında, alüminyum içerisinde büyümeyi en iyi şekilde yavaşlatan ve homojen tane yapısına sebebiyet veren element titanyumdur [21].

2.3.2.3 Etkileşim Zamanı ve Tane İncelticinin Etkisizleşmesi

Tane inceltmede, aglomerasyon sonucunda, çekirdeklenmede herhangi bir işlevselliği olmayan TiB_2 partiküllerinin sergiledikleri davranışa "fade" adı verilmektedir. Nihai tane boyutunu (Ultimate Grain Size:UGS) etkileyen bu olgu, aynı zamanda önemli ölçüde verimsizliğe ve maliyete yol açmaktadır[21]. Şekil 2.19, bu olgunun gösterimini belirtmektedir:



Şekil 2.19 : Tane boyutunun tutma zamanı ile olan ilişkisi [21]

Dolayısıyla, reaksiyonun bir nevi dar boğazı, aglomerasyon gerçekleşip, partiküller heterojen çekirdeklenmedeki görevlerini yerine getiremez hale gelmeden önceki kritik etkileşim zamanıdır. Amaç, sıvı alüminyum ile olan bu etkileşim zamanının

arttırılmasıdır. Yöntemlerden biri, "Karıştırmanın Etkisi" başlıklı bölümde aktarılmıştır.

2.3.2.4 Aglomerasyon

Özellikle folyo üretiminde, aglomerasyon döküm sonrası üründe hataya yol açmaktadır. TiB_2'nin aglomerasyon karakteristiklerini özetlemek gerekirse[21]:

1. TiB_2 partikülleri sıvı Al içerisinde birbirleri ile çarpışır
2. TiB_2 partikülleri, oksit filmlerine bağlanarak, kompleks aglomere yapılar oluşturur
3. Halojen elementlerin, aglomerasyonu arttırması (gaz gidermede kullanılan Cl_2 bunların arasındadır. TiB_2'yi ıslatarak, aglomerasyonu hızlandırır)
4. TiB_2 üzerindeki $TiAl_3$ tabakalarının, partiküllerin yapışmasını sağlaması.

Aglomerasyon sonucu oluşan partikülleri, sıvı alüminyumdan daha yoğun oldukları için, tane incelticinin eklenmesinden sonraki tüm kademelerde proses boyunca dibe çökmektedirler. Çökelme, ampirik olarak ifade edilebilmektedir [21]:

$$N(t) = N(o)\exp(-\beta t + \varepsilon) \tag{2.7}$$

N(t), t anında ergiyikteki partikül sayısı; β bir hız sabiti ve ε bir sabittir.

2.3.2.5 Tane İncelticilerin Üretiminde Kullanılan Maddelerin Etkisi

1. Ti-B-Al Tane incelticilerin üretimi

Ti-B-Al tane incelticilerinin üretim prosesi, üç ana kademeden oluşur: KBF_4'ün üretilmesi, K_2TiF_6'nın üretilmesi ve son olarak bu iki bileşimin alüminyum ile birlikte kullanılarak, Ti-B-Al üretilmesi[24]. KBF_4'ün üretimi için CaF_2, boraks, potasyum klorür ve sülfür kullanılmaktadır. K_2TiF_6 için ise rutil, tuz, sülfür, KCl, CaF_2 ve kok kullanılmaktadır [24].

Burada asıl sorun, nihai üründe bulunan TiB_2 ile beraber, aglomerasyonu sağlayabilecek alüminyum oksit empüriteleri ve bir önceki paragrafta belirtilmiş olan üretim kademeleri neticesinde tane incelticide bulunan KAlF tuzudur [24].

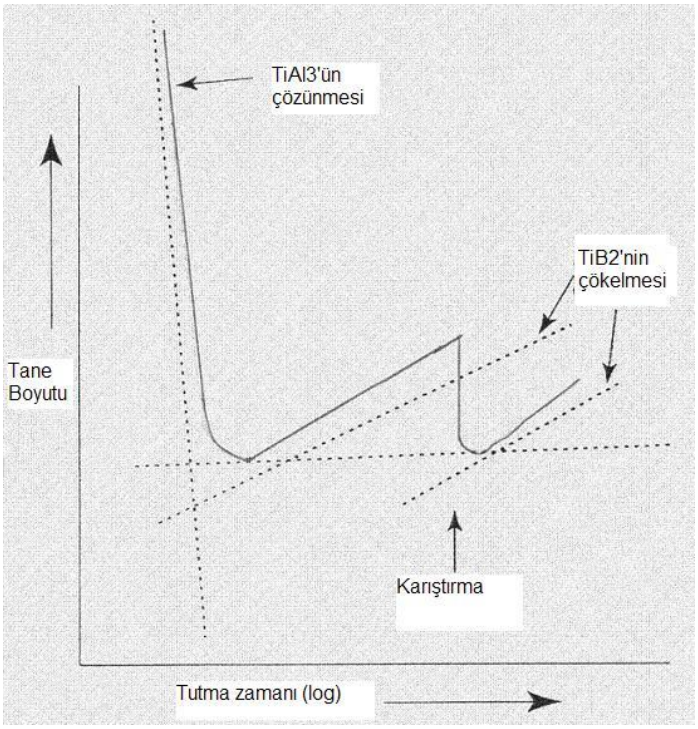
2. Ti-C-Al Tane incelticilerin üretimi

Ti-C-Al tane incelticileri için pratik bir üretim yöntemi, ancak 1978 yılında geliştirilebilmiştir [24]. 1400°C üzerindeki sıcaklıklarda, % 0.15 ağ. karbonun, sıvı

alüminyumda %3 titanyum ile beraber çözünürlüğünün uygun olması ve bu ergiyiğin TiC çekirdeklerinin oluşması için hızlı soğutulması, Al-Ti-C tane incelticilerinin günümüzde kullanılan üretim yöntemidir [24]. Neticede, Ti-B-Al üretiminde olduğu gibi tuzların bir etkisi söz konusu değildir. Ancak, Ti:C oranı, Ti:B oranının yarısı olduğundan, maliyet yaklaşık %50 daha fazla olmaktadır [24].

2.3.2.6 Karıştırmanın Etkisi

Tane inceltmenin etkisizliğine karşı, genellikle karıştırma önerilmektedir [20]. Karıştırma sonucunda, Şekil 2.20'de görüldüğü gibi, nihai tane boyutu, en düşük değerine tekrar dönebilmektedir.



Şekil 2.20 : Karıştırmanın etkisi [20]

3. UYGULAMA VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 KFG'nin Folyo Üretimi için Uygulanması

Kalite Fonksiyonlarını Geliştirme Tekniği (KFG/QFD) uygulaması, Assan Alüminyum'da gerçekleştirilmiştir. Tez içerisinde yapılan çalışmanın amacı, KFG'nin en temel gereksinimi olan pazarlama araçları ile müşteri isteklerinin etkin bir şekilde toplanmasından çok, QFD ile başlayan bir ürün geliştirme çalışmasının hangi şekilde TRIZ metodolojisi ile birlikte kullanılabileceğini göstermektir.

Çalışma, mutfak folyosu üretimi için yapılmıştır, ancak proses değişkenlerinin müşteri istekleri ile olan ilişkileri pek çok ürün için aynı özellikleri taşımaktadır. Tek değişkenler, değerlerin kendisidir. Assan tarafından sağlanan değerler, rekabet avantajı yaratabilecek hassas bilgiler içerdiği için, bazıları aralık içerisinde gösterilmiş bazıları ise verilmemiştir. Önemli olan, ilişkilerin kuvvetleri ve ürün geliştirmede kullanılan akıştır.

Birinci kalite evini içeren ilk çalışma, müşteri isteklerinin belirlenmesini içermektedir. Bu bağlamda, daha önce de bahsedildiği gibi pazarlama araçları ile istekler toplanmamış, doğrudan belirli istekler kalite evine yansıtılmıştır. 1. Kalite Evi, Ek. A'da, Şekil A.1 olarak verilmiştir.

1. kalite evinde belirtilmiş olan önceliklendirmeler sonucunda, merdaneler ile ilgili üretim parametreleri ve inklüzyonlar ile tane incelticileri ile ilgili parametreler ortaya çıkmaktadır.

QFD - TRIZ bağlamında, en önemli çelişkilerden birisinin, hem TiBor miktarını indirmenin hem de TiBor içerisindeki B miktarını indirmenin söz konusu olmamasıdır. Dolayısıyla, bu çelişki ileriki bölümlerde yapılacak olan TRIZ çalışmasında ele alınarak, kolerasyon matrisinde belirtilmiş bu olgu, çalışmanın temel başlangıç noktası olarak ele alınacaktır.

2. kalite evinin amacı, dört evli yapıda bileşenleri teknik parametreler açısından ilişkilendirmektir. Ancak, folyo üretiminde herhangi bir bileşen (makro seviyede) söz

konusu olmadığı için, doğrudan prosese geçilmiştir. Neticede, tez çalışmasında 2. kalite evi olarak geçen çalışma, Proses Matrisi'dir. 2. Kalite evi, Şekil A.2'de verilmiştir.

2. kalite evinde, en büyük önceliğe sahip proses ikiz merdan döküm olarak tanımlanmış, ve sonradan, müşteri istekleri doğrultusunda diğer önemli proseslerin haddeleme kademeleri ile tane inceltme olduğu belirtilmiştir.

Son kalite evinde, proses kademeleri sol kısımda yazılmış ancak üst kısma, özellikle tane incelticiler ile ilgili önemli parametreler eklenmiştir. 3. kalite evi, Şekil A.3'te verilmiştir. Burada bulunan parametrelerin, ilgili iş için talimat çıkarabilecek ayrıntıda ölçülebilir bilgi vermeleri gerekmektedir.

Burada yalnızca önem dereceleri değil, aynı zamanda sayısal değerler önemlidir. Daha önce de belirtildiği gibi, ısıl işlem vs. gibi bilgiler aralık olarak verilmiş, bazı değerler ise verilmemiştir. Ancak, nihai kalite evinde, tüm süreç boyunca elde edilen bilgiler doğrultusunda, müşteri isteklerine uyum sağlayacak ve temel kalitenin üzerinde memnuniyet verecek unsurlar için, sayısal hedeflerin verilebilmesi ve bunların üretimde kullanılacak talimatlara veya proses reçetelerine yansıtılması gerekmektedir.

Tüm QFD çalışmasının sonucunda, folyo üretimi için önemli olan parametreler belirlenmiştir. Bunlar 3. kalite evinde belirtilmiştir. Aynı şekilde, daha önce de bahsedildiği gibi, 1. kalite evindeki korelasyon matrisinden, TiBor miktarı ile ilgili çelişki belirtilmiştir ve bu, TRIZ çalışmasında temel alınmıştır.

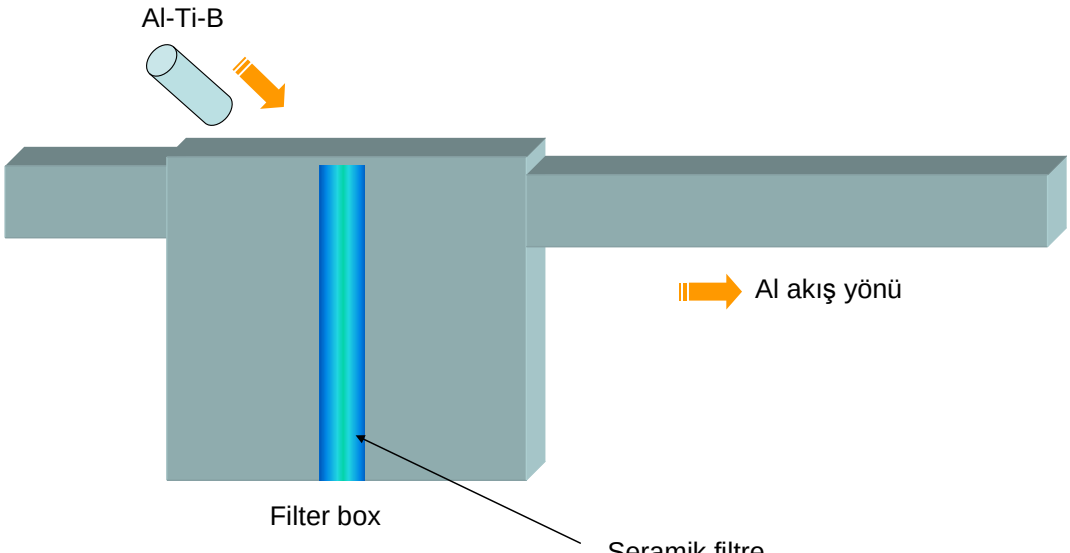
3.2 TRIZ Uygulaması

Gerçekleştirilen KFG çalışmasında, kolerasyon metrisinde önemli bir çelişki TiBor için belirlenmiştir. Hedef değer olarak, daha düşük bir hedef verilmiştir. Teorik kısımda belirtilen engellerin aşılması ve maliyetin düşürülmesi için, KFG-TRIZ geçiş aşamasında, özellikle tane incelticilerin işlevi üzerinde durularak, kapsam bu bağlamda oluşturulmaktadır.

3.2.1 Teknik Sistemin Belirlenmesi

Problem çözme metodolojisinin içerisinde, öncelikle "tanımlama" safhasında yer alan kısmın tamamlanması için, teknik sistemin belirlenmesi gerekmektedir.

Sistemin, herhangi bir problem çözme uygulamasından önceki hali, Şekil 3.1'de belirtilmiştir.



Şekil 3.1 : Teknik Sistem

Şekilden görülebildiği gibi, TiBor alaşımı filter-box'tan önce beslenmektedir. Çekirdeklenmeyi sağladığı düşünülen TiB_2 partikülleri, TiBor'un içerisinde bulunan Al_3Ti vasıtasıyla fazladan titanyumun bulunduğu ortamda tane inceltici olarak görevlerini yerine getirmektedirler. TiBor, farklı alüminyum alaşımları için farklı hızlarda beslenmektedir. Ancak, seramik filtrenin önünden beslenen TiBor, belirli sorunların oluşmasına sebebiyet vermektedir (bunlar, çelişkilerin anlatıldığı bölümde açıklanmıştır).

3.2.2 Teknik Prosesin Belirlenmesi

Yapılan bu çalışma çerçevesinde, bütün TRIZ uygulaması açısından en büyük sorunu yaratan ve maalesef üstesinden gelinmesi bu çapta yapılacak olan çalışmalar ile aşılamayacak olan kısım, Teknik Proses'in belirlenmesidir. Daha önce de bahsedildiği gibi, Teknik Sistem, ilgilenilen olguyu üç boyutlu uzayda, Teknik Proses ise zaman düzleminde tanımlamaktadır. Dolayısıyla, Teknik Proses'in bilinmesi için, Al-Ti-B'nin tam olarak hangi mekanizmalar ile hangi şekilde bir çekirdeklenmeye sebebiyet verdiği bilinmelidir. Şu anda, teorik bölümde anlatıldığı gibi, yalnızca bu konu üzerine pek çok çalışma mevcuttur ve farklı teoriler ortaya konulmuştur. Bu sebepten dolayı, tez çalışması bünyesinde yapılan TRIZ çalışması,

yalnızca makro seviyede kalabilmiş ve mikro boyuta, yani reaksiyon ara yüzeylerine, inememiştir.

3.2.3 Çelişkinin belirlenmesi

Hangi mekanizmayla reaksiyona girdiği tam olarak belli olmayan Al-Ti-B alaşımı, daima %100 çözünürlüğe ulaştığı düşünüldüğü seviyeden daha fazla verilmektedir. Bunun sebebi, ikiz merdaneli dökümde tane incelmesinin tam olarak gerçekleşmemesi durumunda, seramik püskürtücüden çıkan sıvı alüminyumun derhal merdanelerde sarmaya neden olması veya inceltme işlemlerinde uzun yarıkların mamulde oluşma tehlikesidir. Dolayısıyla, üç problem söz konusudur:

Birincisi, filter-box içerisinde ve yolluk boyunca, TiB2 partikülleri çökelerek, kalıntı oluşturmaktadırlar. Bu kalıntılar, topaklar halinde, iç yüzeydeki seramik malzemeye yapışmaktadırlar ve yalnızca bütün hat bakıma alındığı zaman, sıvı alüminyum ile temizlenebilmektedirler.

İkinci sorun, tane inceltici seramik filtreden önce beslendiği için, filtrenin ömrünün kısalmasıdır. Aslında, buradan besleme yapılmasının tek sebebi, topaklanan ve tane incelmesi için uygun çekirdeklenme ortamı yaratamayan TiB2 partiküllerinin yakalanarak, seramik püskürtücüye ulaşmasının engellenmesidir.

Üçüncü sorun ise, TiBor'un topaklanma riski olması ve seramik filtreden önce beslendiği için, teorik kısımda açıklanan ve "fade" olarak nitelendirilen olayın meydana gelmesidir. Sıvı alüminyumun, proses içerisinde 1m/dk hızda ilerlediği düşünülürse, sadece yollukta 2 dakika harcanacaktır.

Bahsedilen bu problemlerin ardındaki en önemli sorun, bir önceki bölümde belirtildiği gibi Al-Ti-B'nin hangi reaksiyon mekanizması ile, veya TRIZ deyimi ile hangi Teknik Proses vasıtasıyla, çekirdeklenmeyi sağladığının bilinmemesidir. Dolayısıyla, proses adımları bilinmediğinden, TiBor fazladan eklenmektedir. S. Savransky, "Yaratıcılığın Mühendisliği"nde [10] bu tür sorunları da göz önünde bulundurmuştur ve problem çözme çerçevesinde kullanılan sorgulamada, "Sorunun temelinde, ölçülebilirliğin net olarak yapılamaması mı var?" şeklinde belirtmiştir.

Ancak, bir önceki bölümde de belirtildiği gibi mikro seviyede bir tanımlama yapılamasa da, makro seviyede bir incelemenin yapılması ve çelişkinin bu düzeyde

tanımlanması mümkündür. Eğer TRIZ mantığı bu çerçevede yürütülürse, şu tanımlamaları yapmak mümkündür:

"Obje" olarak Al-Ti-B alaşımı olan TiBor alınmaktadır. Teknik sistem zaten belirtilmiştir. Objenin, faydalı ve zararlı faaliyetlerini gerçekleştirdiği yer, sıvı alüminyumun içerisindedir. Bu durumda, çelişkinin ilk hali şöyle tanımlanabilir:

"TiBor hem tane inceltme görevini yerine getirsin, hem de hiç çökelmesin."

veya

"TiBor yetersiz ölçüde ilave edildiğinde tane inceltme gerçekleştirilemiyor, fazladan ilave edildiğinde ise TiB_2 halinde ürüne geçiyor ve hataya sebep oluyor."

Bu cümleler, ilk etapta TRIZ açısından yetersiz kalmaktadır, çünkü aslında fazla konulması zaten çökelmesine sebebiyet vermektedir. Yani, TiBor'un miktarı bir mühendislik parametresidir. Altschuller'in 39 mühendislik parametresi incelendiğinde, "Maddenin miktarı" diye bir başlık bulunmaktadır. Burada "Madde", zaten "Obje" olarak tanımladığımız TiBor'dur.

Kritik olan diğer safha, öteki parametrenin belirlenmesidir. İşte bu noktada, makro boyutta soruna yaklaşıldığı için, genel bir parametre seçilmiştir: "Zararlı yan etkiler". Eğer çelişki cümlesi tekrar revize edilirse:

"TiBor, sıvı alüminyuma çözünemediği tüm miktarlarda, zararlı yan etkiler meydana getirmektedir."

Ölçülebilirlik başlı başına bir sorun olduğundan, %100 çözünürlüğe ne zaman ulaşıldığı bilinmemektedir ancak onun üzerindeki tüm eklemeler, zararlı bir yan etki meydana getirmektedir. Bu durumda, çelişkiler matristeki sıraları ile anıldığında, "26: Madde/Obje'nin Miktarı" ile "31: Obje tarafından meydana getirilen zararlı yan etkiler" olarak alınabilir. Matrisin yapısı, TRIZ'in teorik anlatımında da belirtildiği gibi, bir tarafı gelişen veya artan parametreleri, diğer tarafı ise, azalan veya kötüleşen parametreleri belirtmektedir. Bu durumda, artan özellik "26: Madde/Obje'nin Miktarı", kötüleşen özellik ise "31: Obje tarafından meydana getirilen zararlı yan etkiler" olarak nitelendirilebilir. Bu olguya çok dikkat edilmelidir çünkü tam tersi alındığında, matriste farklı bir kareye ve dolayısıyla farklı prensiplere tekabül etmektedir.

3.2.4 İdeal Durumun Belirlenmesi

Çelişkilerin netleştirilmesi ardından, mükemmellik ilkesi baz alınarak, sistemin hangi ana fonksiyonu eksiksiz ve kaynak harcamadan yerine getirerek amacını gerçekleştireceği tanımlanmalıdır. Bu durumda, iki önemli düşünce ayrımı söz konusudur:

3.2.4.1 Yaklaşım 1

"Çözünürlük" temelinde bulunan bir çözüm, aslında bir optimumdur ve TRIZ yaklaşımına aykırıdır. TiB_2 çökelmesi engellenmemektedir. Al-Ti-C gibi B içermeyen tane incelticiler kullanılması gibi çözümlere yönelinerek, bu sorunu tamamen ortadan kaldıran bir yaklaşım sergilenmelidir.

3.2.4.2 Yaklaşım 2

TiB_2'nin, hangi reaksiyon ile heterojen çekirdeklenmeye sebebiyet verdiği tam olarak bilinmediğinden (hatta çekirdeklenmenin merkezinde olduğu da ispatlanmış değil), "asıl" çözüm için gerekli Teknik Proses belirlenmemiştir, dolayısıyla TiB_2'nin çözünürlüğü yalnızca makro seviyede bir unsurdur. Dolayısıyla, heterojen çekirdeklenme reaksiyonu, mükemmelliğe giden ana fonksiyon olarak kabul edilebilir.

Yapılan bu tez çalışması çerçevesinde, 3.2.4.2 açıklaması benimsenmiştir. Böylece, ideal olan çözüm:

"Herhangi bir reaksiyona gerek kalmadan, ince taneli alüminyumun elde edilmesi"

Bu, tamamen teorik bir yaklaşım olduğundan, daha spesifik bir çözüm cümlesi:

"Al-Ti-B içerisinde bulunan tüm TiB_2 partikül yüzeylerinin, heterojen çekirdeklenme sağlaması."

3.2.5 Prensiplerin Yorumlanması

39 Mühendislik Çelişkisi'nin bulunduğu matristen, belirlenen kare incelendiğinde belirtilen prensipler, sırasıyla 3, 35, 39 ve 40'tır. Bunlar:

Prensip 3: Bölgesel Kalite

i. Bir maddenin yapısını, homojenden heterojene çevirmek veya dış çevrenin (veya dış etkinin) homojenden heterojene çevrilmesi.

ii. Bir maddenin her kısmının, o kısım için en iyi koşulları veren şekilde işlemesinin sağlanması

iii. Bir maddenin farklı kısımlarının, farklı faydalı işlevlerin yerine getirmesini sağlanması

Prensip 35: Cismin fiziksel ve/veya kimyasal halinin değiştirilmesi

i. Herhangi bir objenin fiziksel halinin değiştirilmesi

ii. Konsantrasyonun veya istikrarlılığın değiştirilmesi

iii. Esneklik derecesinin değiştirilmesi

iv. Sıcaklığın değiştirilmesi

v. Teknik prosesin başka unsurlarının değiştirilmesi

Prensip 39: İnert atmosfer

i. Normal atmosferin, inert atmosfer ile değiştirilmesi

ii. Nötr parçaların veya inert katkıların objeye eklenmesi

Prensip 40: Kompozit malzemeler

i. Homojen malzemelerden kompozit malzemelere geçilmesi

40. prensip için herhangi bir uygulama şekli bulunamamıştır ancak, diğer maddeler için, bir uygulamanın nasıl gerçekleştirilebileceği aşağıda tartışılmaktadır.

Prensip 3: Bölgesel Kalite

Bu prensip altında yapılan öneri, makalelerde sık sık bahsedilen "karıştırma" olgusunun kullanılması. Ancak, karıştırma önerisinin temelinde yatan yaklaşım, hala bir optimum kavramını içerir. TRIZ'in temelinde, çelişkilerin doğrudan kaldırılması söz konusudur. Yalnız, bir önceki bölümde değinildiği gibi Al-Ti-B'nin çözünürlüğünün arttırılması ideal çözüm olarak düşünülebilir. Tek fark, bu problemin ele alınışı, zaten literatürde belirli ve bilinen bir yöntem ile değil, mikro düzeyde yapılacak bir buluş ile olmalı.

Prensip 35: Cismin fiziksel ve/veya kimyasal halinin değiştirilmesi

TRIZ'in teorik anlatımında, en sık kullanılan prensibin 35 olduğundan bahsedilmişti. Öneriler:

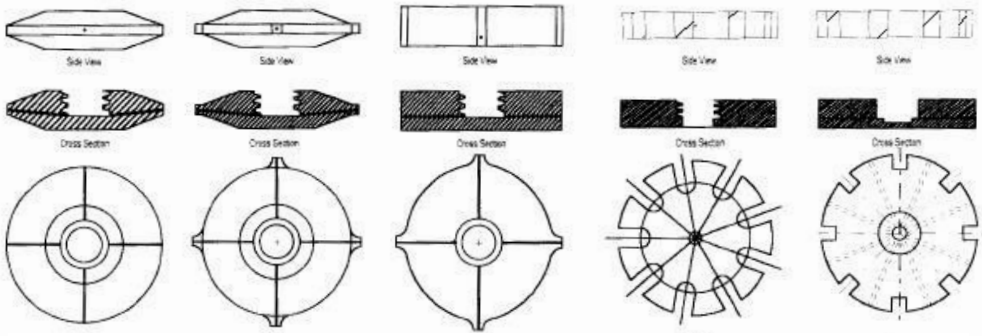
1. TiBor'un içeriği değiştirilebilir
2. Objenin, yani TiBor'un, katı haricindeki bir halde kullanılması söz konusu olabilir.

TiBor'un içeriğinin değiştirilmesi, tane inceltici olarak verimliliğinin arttırılması anlamına gelmektedir. Teorik bölümde anlatıldığı gibi, en son benimsenen ancak hala tam olarak reaksiyon şeklini açıklamayan dupleks teorisine göre, 2-5 mikron boyutlarında, fazla küçük olmayan ve Al_3Ti ile kaplı TiB_2 gerekmektedir. Tane inceltici üretimi ile ilgili bazı makalelerde, istenilen bu dağılıma ulaşılmasında en kritik proses adımının, üretimin son kademesindeki soğutma şekli olduğunu belirtmektedir[20,29]. Ancak diğer taraftan, ABD Enerji Bakanlığı tarafından yapılan bir çalışmada, partikül boyutu ile tane inceltici performansı arasında istikrarlı bir ilişki elde edilememiştir[24].

İçerik değiştirme yaklaşımını, yalnızca TiBor için değil, TiCAl için de düşünmek mümkündür. Her iki tane inceltici için farklı üretim yapan kuruluşlarda farklı sonuçlar elde edilmiştir dolayısıyla yine çekirdeklenme mekanizması ile ilgili bilinmeyenler söz konusudur.

TiBor'un katı haricindeki bir halde kullanılması, ilk etapta sıvı veya gaz olarak düşünülebilir. Sıvı olarak TiBor'un sisteme verilmesi, herhangi bir faydada bulunmayacaktır. Tane incelticilerin teorik olarak etkilerinin anlatıldığı bölümde, TiB_2'nin hekzagonal yüzeyi olan (0001) düzleminde, stokyometrik olarak fazladan Ti bulunması durumunda heterojen çekirdeklenme sağlanıyor. Ti, Al_3Ti olarak tane incelticinin içerisinde bulunur. Dolayısıyla, tane incelticinin sıvılaştırılması, heterojen çekirdeklenmeye tamamen ters bir mantıktadır. Heterojen çekirdeklenmenin, mekanizması bilinmese de, gerçekleştiği düzlem sıvı olarak besleme söz konusu olursa bulunmamaktadır. Al-Ti-B alaşımlarında, zaten %97'den fazla Al mevcuttur, dolayısıyla sıvılaştırılması, herhangi bir işlevi yerine getiremeyecek sıvı Al'nin oluşumu demektir.

Gaz konusunda yapılan bir çalışma, ABD Enerji bakanlığının (DoE) yürüttüğü bir çalışmadır. "fy-Gem" [24] olarak bilinen bu çalışma, TRIZ açısından kritik bir yaklaşımla, özellikle döküm alaşımları için iyi sonuçların elde edilmesini sağlamıştır. Çalışmada, borür gaz olarak sisteme verilmiş ve karıştırıcılar ile, gaz şeklinde püskürtülerek, sıvı alüminyum içerisinde çözünmesi sağlanmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : fy-Gem çalışmasında kullanılan başlıklar [24]

Gaz, BCl_3 olarak ve Ar ile verilmiştir. Çalışmada, oluşan kabarcıkların geometrisi önem kazanmaktadır. 2mm çapında bir kabarcık, %15 BCl_3 ve % 85 Ar içermektedir. Dolayısıyla, içerisinde 8.3 x 10^{-8} g B bulunmaktadır. BCl_3 molekülü, kabarcık yüzeyinde sıvı alüminyum ile temas ettiğinde, aşağıdaki reaksiyon meydana gelmektedir [24]:

$Al + BCl_3 \rightarrow B + AlCl_3$

Elde edilen tane küçültmesi, döküm alaşımları için TiBor ile eş seviyededir. Ancak dövme alaşımları için iyi sonuç alınamamıştır[24]. 0,5 mikron boyutlarındaki partiküller ile 350 - 700 mikron arası tane boyutları sağlanmıştır. Oldukça tutarsız olan bu sonuçlar, yine teorideki eksikliklerden kaynaklanmaktadır[24].

Çalışma sırasında, düşünülen diğer bir yöntem, tane incelticinin toz halinde püskürtülmesi. Böylece, eş zamanlı olarak, farklı boyutlarda tane oluşumu olmadan veya bölgeden bölgeye tane yapısında değişim olmadan heterojen çekirdeklenme sağlanabilir. Ayrıca, Al-Ti-B daha kontrollü bir şekilde sisteme verilebilir, böylece %100 çözünürlük üzerinde tane inceltici verme riski azalır.

Bu doğrultuda yapılan araştırma, toz püskürtmenin alüminyum sektöründe kullanıldığını göstermektedir[21,30,31]. Ancak, bu yöntemin getirdiği sorunlar ve yüksek yatırım maliyetleri yüzünden pek uygulanmadığından bahsedilmektedir [21,30]. Tane inceltme ile beraber alaşımlandırmada da nadiren kullanılan toz püskürtme teknolojisi, inert ortamda kullanılmaktadır. Oysa, filter-box'ta yapılacak

olan bir toz püskürtme cihazı, sıvı alüminyum yalnızca kendi oksit tabakası ile korunduğundan, pek çok sorun ile karşılaşacaktır.

Toz püskürtmenin yaygınlık kazanmama sebepleri arasında ilk yatırım maliyetleri, tozun oksit tabakasına karışması ve toz taşımanın sorunlarıdır. Tozun taşınması, mutlaka inert bir gaz ile yapılacağından, sıvı alüminyumun yüzeyinde kabarcık oluşumuna sebebiyet verecektir.

Ancak, TRIZ çalışması sonucunda, eş zamanlı çekirdeklenmenin ve bölgesel çözünürlüğün aşılmamasının tek yolu olarak, toz püskürtme teknolojisinin geliştirilmesi bulunmuştur. Pek çok parametre mevcuttur. Haznenin şekli, karıştırma ve püskürtmenin bir arada yapılması, tane inceltme ünitesinin inert ortama alınması gibi değişkenlerin ele alınması gerekmektedir. Yapılan patent araştırmasında, temel fonksiyonlar bazında değil, doğrudan toz püskürtme için püskürtücü uç arandığından, uygun bir çözüm bulunamamıştır.

Çalışmalara devam edilmesi gereken noktada, önemli bir kısıtlamanın söz konusu idi. Böyle bir çalışmanın getireceği mali yükün karşılanmasının ilk etapta mümkün olmaması ve sürekli üretim yapan bir hat için yaratacağı risk söz konusu olduğundan, yüksek lisans çalışması çerçevesinde bu çalışmalara devam edilmemesi ve diğer çözüm yöntemlerine yoğunluk verilmesine karar verildi.

TRIZ yaklaşımı ile yorumlama yapılamayan ancak son derece etkin olan başka bir çözüm yöntemi, ultrasonik titreşim vasıtası ile, hem karışımın sağlanması hem de dipte topaklanan partiküllerin engellenmesidir[32]. Ultrasonik titreşim ile beraber karıştırmanın da kullanılması mümkündür. Düşünülen, yolluk boyunca piezoelektrik kristaller kullanarak, karışımın sağlanmasıdır. Ancak, yine mali gerekçeler yüzünden, bu doğrultuda ayrıntılı bir çalışma yapılmamıştır.

Düşündürücü olan bir olgu, ilk etapta faydalı gözüken bu çözümün, niye TRIZ yorumlaması ile ortaya çıkmadığıdır. Bir olasılık, çözümlerin kurgulandığı çelişki modelinin yetersizliği olarak düşünülebilir. Makro seviyedeki çözümde, önemli olan fonksiyon parametrelerine değinilmemiş olması bir ihtimaldir.

3.2.6 Karıştırıcı Tasarımı

Maliyet bazındaki kısıtlamalar sebebiyle, seçilen çözüm yolu, literatürde de geçen, sıvı alüminyumun tane incelticini beslenmesi sırasında karıştırılması yöntemi olarak

belirlendi. Firma açısından, sonucun etkinliği kapsamında çok az risk ve sürekli üretimin sağlandığı hatta herhangi bir fiziksel değişimin yapılması söz konusu olduğundan bu yolun ilk etapta daha güvenilir bir yol olduğu kararı verildi. Bu doğrultuda, karıştırıcı tasarımı çerçevesinde, iki önemli kısıtlama belirlendi.

Birinci kısıtlama veya tasarım faktörü, ideal karışımı sağlamalı ancak türbülans yaratmamalı. Bu durumda, "ideal" karışım, sıvı alüminyum içerisinde bulunan tüm TiB_2 partiküllerinin, heterojen çekirdeklenmeye uygun bölge oluşturmaları olarak düşünülebilir.

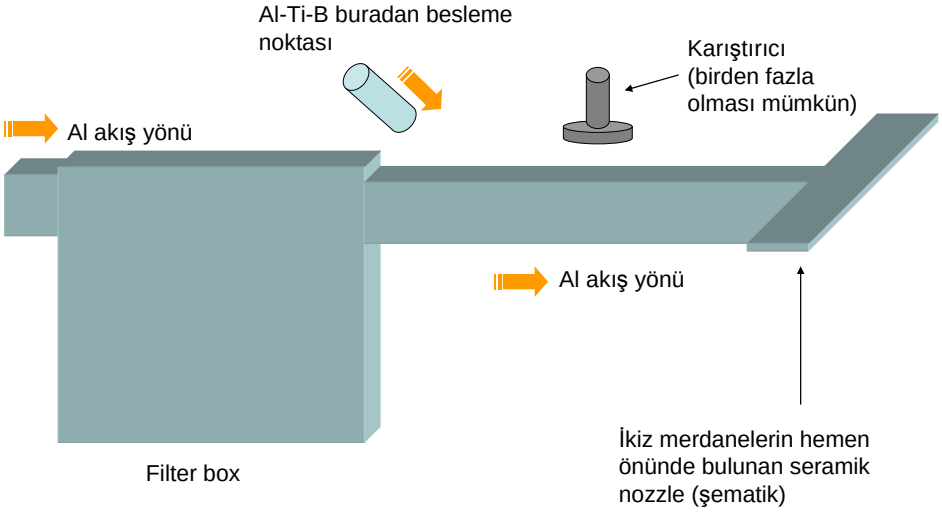
Bir önceki paragrafta belirtilenin sağlanması durumunda, tam karışım sağlanacağından, karıştırıcının nereye yerleştirilmesi gerektiği önem kazanmaktadır. Zamanla etkisizleşmenin en aza indirgenmesi için, birden çok da karıştırıcının kullanılması düşünülebileceğinden, yüksek riskli bir yaklaşım ile yolluk içerisinde (filter-box'tan hemen sonra ve seramik püskürtücüden önce) karıştırma hedeflendi.

3.2.6.1 Karıştırıcı başlığının tasarımı

Karıştırıcı başlığı ile ilgili sorunlar, daha çok akışkanlar mekaniği ile modelleme gerektirmekte idi. Ancak, projedeki kaynak kısıtlamaları sebebiyle, Ansys veya benzeri programlar ile CFD (Computational Fluid Dynamics) hesaplamalarının yapılması mümkün değildi.

Karıştırıcı hesaplamalarında başka bir sorun ise, standardizasyon eksikliği altında sınıflandırılabilir[33]. Çok genel hatlar ile yapılmış belirli tasarımlar, yalnızca genel geometrileri ile sınıflandırılmış bulunmaktadır. Bu da karıştırıcı seçimini zorlaştırmaktadır.

Üçüncü önemli sorun, standart olmayan karıştırıcıların, geometrik hesaplamaları için kullanılan formüllerin, özellikle de bu projede aranılan karıştırıcı başlıkları için, tanklar için olmasıdır. Oysa, bahsedilen 2. kısıtlama çerçevesinde, ilgilenilen Teknik Sistem'in şematiği Şekil 3.3'teki gibi belirtilebilir.



Şekil 3.3 : Teknik Sistemin revize edilmiş hali

Karıştırıcı ile ilgili belirtilenler çerçevesinde, yapılan en yakın çalışma fy-Gem ile ilgili tane inceltici projesi idi. Ancak bu çalışma incelendiğinde, gaz ile karışım temelinde ve inert atmosfer içerisinde bir teknik sistem söz konusu idi. Dolayısıyla, önemli ölçüde sorun teşkil eden türbülans vasıtası ile hidrojenin sıvı alüminyuma karışması, burada geçerli değildir.

Karıştırıcıların tasarımı için gerekli formüller incelendiğinde, genel olarak üç ana formül, karışımın dinamiklerini betimlemektedir [33].

$$N_{Re,mix} = \frac{\rho N D_a^2}{\mu} \qquad (3.1)$$

Denklem 3.1'de belirtilen Reynolds sayısı, eylemsizlik ve viskoz kuvvetlerin, akışkan dinamiğine olan etkisini belirlemek amacıyla kullanılır. Kısaca, akışın laminar veya türbülans karakteristiğinde olup olmadığını öngörür. D_a karıştırıcı çapı, N karıştırıcı hızı, μ viskozite ve ρ yoğunluk olarak belirtilmiştir.

$$N_{Fr} = \frac{D_a N^2}{g} \qquad (3.2)$$

Denklem 3.2'de belirtilen Froude sayısı, eğer vorteks oluşumu sistemde olacaksa, bunun karışımı ne derece etkilediğini saptamak için kullanılır. Genel olarak, "kitle" halinde dönen sıvının momentumunun, birim alandaki yer çekimi ivmesine olan

oranını içerir. Denklemde D_a karıştırıcı çapı, N karıştırıcı hızı ve g yer çekimi ivmesi olarak belirtilmiştir.

$$N_P = \frac{Pg_c}{\rho N^3 D_a^5} \tag{3.3}$$

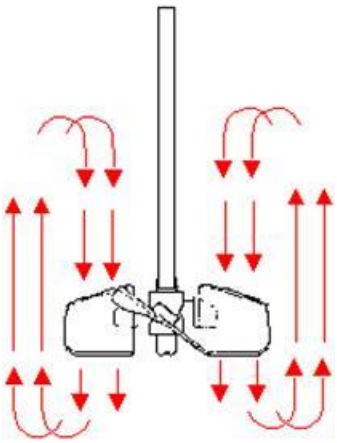
Denklem 3.3.'de belirtilen güç sayısı, Karıştırıcının, istenilen ölçüde bir karışım sağlarken ne kadar güç harcaması gerektiğini belirten formül. Birimsiz olan güç sayısı denkleminde, P motor gücü, g_c yerçekimi ivmesi, ρ yoğunluk, N karıştırıcı dönüş hızı ve D_a karıştırıcı çapı olarak belirtilmiştir.

Vorteks oluşumu istenmediğinden, böyle bir olgunun karışıma olan etkisi olmayacağı için Froude sayısının hesaplanmasına gerek yoktu. Güç sayısı ise, ilk etapta önemli olan bir parametre değil çünkü karıştırıcılar son derece küçük (yollukta) ve oldukça yavaş döneceklerinden (türbülans olmaması için), harcanacak elektrik gücü veya karıştırma ile sisteme verilecek enerji, 1 m/dk hızda akmakta olan sıvı alüminyumun sıcaklığını önemli ölçüde arttırmayacaktır.

Sıvı alüminyumun yoğunluğu 2.84 g/cm^3 (saf) olarak alındı. Sıvı alüminyumun viskozitesi için pek çok ayrı çalışma mevcut ve Dinsdale et al. tarafından yapılan çalışmada bunlar özetlenmiş bulunmaktadır[34]. Bu çalışmalardan görüldüğü üzere, Türkiye'de ergimiş metal viskozitesi için ölçüm yapan herhangi bir teçhizat mevcut değil. Dolayısıyla, aynı zamanda bir literatür derlemesi olan bu makaleden yola çıkılarak, sıvı alüminyumun viskozitesi 1.4 mPas olarak belirlendi.

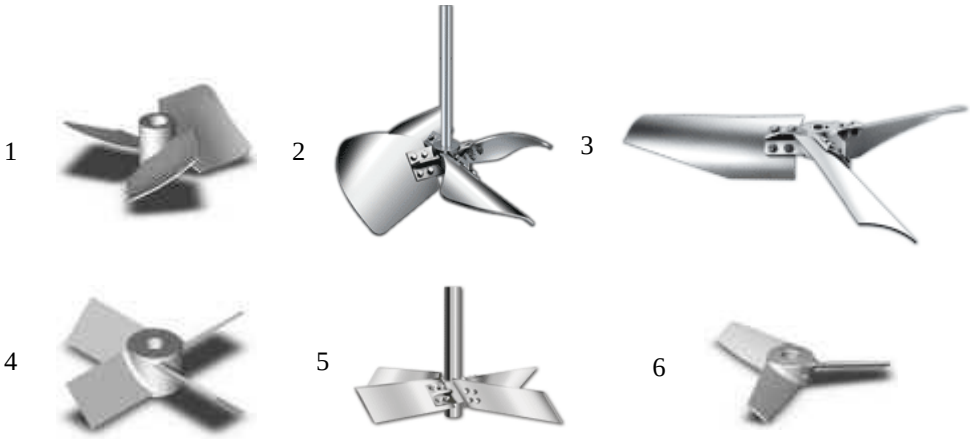
Bu durumda, Reynolds sayısı, formülünde karıştırıcı dönüş hızı ve pervane çapının belirlenmesi gerektiği bir formül olarak kalmakta idi.

Karıştırıcı tasarımında, bu iki olgunun değişkenlik göstermesi, aynı zamanda pervane tipinin seçimini de etkilemektedir. Döngüsel (radial) ve eksenel (axial) tipi pervaneler arasında, çökelmeyi engelleyecek en uygun pervane tipinin axial karıştırıcı olduğu belirlendi. Bunun sebebi, akımın yer düzlemine dik olarak hareket ederek, minimum vorteks oluşumu ve türbülans ile çökelen TiB_2 tanelerini sıvı içerisinde asılı tutma kabiliyetinden gelmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : Eksenel (axial) karıştırıcıların akış yönlendirme şekli

Bu karıştırma şekli, en uygun akış tipini sağlamaktadır. Ancak, hangi başlığın kullanılması gerektiği, bilgisayar modellemesi ile daha uygun bir şekilde bulunabilir.



Şekil 3.5 : Bazı eksenel (axial) karıştırıcılar

Bu kaynak mevcut olmadığından, Şekil 3.5'te belirtilen karıştırıcı tipleri arasından bir seçim yapıldı.

Seçim, üretim kolaylığı açısından 4. ve 6. karıştırıcı tipleri olarak belirlendi. 6. tip, yalnızca eksenel karışım sağlayarak, pervane dönüşünden sonra herhangi bir türbülansın yaratılmasını engelleyecek bir tasarıma sahip. Ancak, Sayın Prof. Dr. Cüneyt Arslan ile akışkan davranışını düşük hızlarda bunun ne derece etkileyeceği konusunda yapılan toplantı sonucunda, son derece daha rahat deney yapılabilecek ve yalnızca karışımın etkisinin ölçülmesini sağlayabilecek olan 4. tip karıştırıcı seçildi.

Bu seçimin ardından, tekrar Reynolds sayısı ile pervane tasarımı için gerekli formüllere dönüldü. Karışımın sağlanacağı sistem yolluk olarak seçildiğinden, yolluğun geometrik ölçüleri elde edildi: 8cm x 20 cm x 200cm (genişlik x yükseklik x uzunluk).

Pervane yüzey alanının hesaplanması için gerekli formüller incelendiğinde[34], daha önce de değinildiği gibi bu formüller genellikle karıştırıcının merkezde bulunduğu tank veya hazneler için türetilmiş bulunmakta. Yaklaşım bu formüllerle de olsa, karıştırıcı çapı ve hızı, iki bilinmeyen olarak kalmakta.

Bu durumda, yaklaşımın ideal karıştırıcıyı bulmak değil, tane çökelmesini engellemek ve bu durumda da hataların ne derece değişkenlik gösterdiğini saptamak olduğundan, bu hedefe yönelik olarak üç karıştırıcı tipi ve geometrisi kararlaştırılmıştır. Bu karıştırcıların çizimleri, Ek B'de verilmiştir.

1. 4 bıçaklı, 45 derece açılı karıştırıcı

Karıştırıcı 1'in geometrisi belirlenirken, göz önünde bulundurulan en önemli özellik, pervane çapı idi. Yukarı doğru akış, dairesel bir hazne içerisinde gibi olmayacaktır. Yolluk, ince ve uzun bir geometri içerdiğinden, seçilen karıştırıcı tipi için kimya mühendisliği uygulamalarında kullanılan d/D (karıştırıcı çapı/tank çapı) oranı olan %50[34] kullanılmadı. Bunun sebebi, yukarı doğru kaldırma için, karıştırıcının her iki yanında yeteri kadar mesafe olması. Dolayısıyla, aşağıya doğru maksimum alanda etki sağlanması için, pervane çapı ile duvar arasında her iki tarafta yalnızca 5mm bırakıldı.

2. 4 bıçaklı, 90 dereceli karıştırıcı

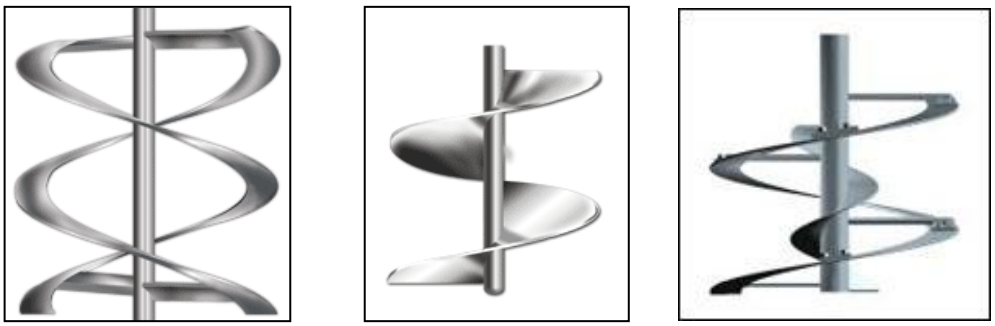
Bu tasarım, yalnızca çökelmeyi azaltma amacı ile düşünüldü. Akış yönüne ters bir şekilde hareket edecek olan ve akışa dik duracak olan karıştırıcı, yolluğun yanlardan delinmesini gerektirmekte. Bu karıştırıcının yollukta herhangi bir delme işlemi gerektirmesi, buna ek olarak, aynı prensipte çalışan ancak hareketi başka şekilde motordan alan bir tasarım yapıldı.

3. 4 bıçaklı, 90 dereceli karıştırıcı - 2

Prensipte, aynı karıştırıcı türü olan 3. tasarım, yollukta akışa paralel olarak duracak şekilde boyutlandırıldı. Böyle yapılmasının sebebi, yollukta herhangi bir delme işlemi yapılmadan, dönme hareketini yukarıdan alarak, ortada bulunan kapalı bir

dişli sistemi vasıtası ile yapılmasının sağlanmasıdır. Ancak, bu karıştırıcının en önemli sorunu, dişli kutusunun sıvı alüminyum içerisinde olmasıdır. Kutunun sızdırmazlığı, çok büyük önem kazanmaktadır.

Seçilen karıştırıcılar, Assan'daki mühendisler tarafından incelendi ve farklı bir tasarım önerildi. Önerilen farklı tasarım, daha çok yüksek viskoziteye sahip akışkanlar için kullanılan karıştırıcı türlerine benzemekteydi. Şekil 3.6'da, yüksek viskoziteli akışkanlarda kullanılan karıştırıcılar belirtilmiştir.



1 2 3

Şekil 3.6 : Yüksek viskoziteli akışkanlarda kullanılan karıştırıcı türlerinden bazıları

3 numaralı karıştırıcı, patentli bir tasarımdır. Ancak 1 ve 2 numaralı karıştırıcılar, özellikle beton veya çamur yoğunluğundaki karışımları karıştırmak için kullanılmaktadırlar. Tez için yapılan çalışmada, önerilen karıştırıcı türleri eklerde çizimleri ile birlikte belirtilmiştir. Nihai olarak seçilen ve üretilen karıştırıcı ise aşağıda Şekil 3.7'de belirtilmiştir.



Şekil 3.7 : İmal edilen karıştırıcılar

3.2.6.5 Karıştırıcıların kaplanması

Karıştırma deneyi öncesinde, karıştırıcı imalatından önce, karıştırıcının hangi malzemeden yapılabileceği ve/veya sıvı alüminyuma karışmaması için hangi kaplamaların gerektiğine karar verildi. İlk etapta ele alınan seçenekler, hassas dökümde kullanılan seramik malzemenin kullanılması, SiAlON, st37 üzerine BN kaplama, grafitten karıştırıcıların yapılması veya SiC kullanılması idi.

Müllit ($Al_2O_3.2SiO_2$) veya diğer alümina silikatlar ile yapılan denemelerde, karıştırıcı sürekli olarak seramikte çatlamaların meydana geldiği belirtildi. SiAlON seçeneği ise, deneysel çalışmada kullanılacak bir karıştırıcı için son derece pahalı bir malzeme olduğundan tercih edilmedi. BN kaplama için yapılan araştırmada, BN'nin parçalar halinde kopabilme riski olduğundan bahsedildi bu da kesinlikle kabul edilemez bir risk olduğundan, bu seçenek de elendi. Grafit karıştırıcı için ise izostatik pres ile üretim gerekmekte idi ve zaten grafit ile daha önce yapılan deneylerde belirli sorunların yaşandığından bahsedildi (operatörlerin takma/çıkarma sırasında karıştırıcıya hasar vermesi). SiC'nin birim fiyatının da deney teçhizat için pahalı olduğu belirtildi.

İlk etapta sunulan tüm seçenekler elendiğinden, son olarak Senkron Metal'de, yüzeye 800°C'ye dayanıklı olan saf Al_2O_3 kaplanmasına karar verildi. AMDRY 6060 olarak bilinen malzeme, mekanik dayanımı kötü olmasına rağmen hiç bir şekilde alüminyum ile tepkimeye girmeyecek bir malzeme olduğundan ve iyi yapışma

sağlandığından tercih edildi. 60 μ mertebesinde yapılan kaplama, özellikle çatlama riskinden dolayı daha büyük kalınlıklarda kaplanmadı.

3.3 Ön Numunelerin İncelenmesi

Gerçekleştirilen deneyler öncesinde, 3 farklı numune incelenmiştir. Bunlar, sırasıyla Al-Ti-B tane incelticisi, Al-Ti-C tane incelticisi ve yolluk içerisinde oluşan topaklardan alınan bir numunedir.

Numuneler için yapılan hazırlıkta, öncelikle, alaşımdan kullanılacak olan parçalar kesildi ve enlemesine ve uzunlamasına kesit alınacak şekilde her iki alaşım için ayarlandı. Daha sonra, Serifix markalı resin ile bağlayıcı, 80'e 1 oranda karıştırıldı. 30 saniye boyunca yapılan karıştırma sonrasında, numuneler 3 saat boyunca donmaya bırakıldı.

Yolluk içerisindeki topaklar için yapılan analizde, hattın bakıma alındığı sırada, yolluğun içerisinde katılaşan alüminyum tabakası olduğu gibi alındı. Tabaka içerisinde, topaklanan partiküllerden bir tane seçildi ve kesilerek tabakadan ayrıldı. Bundan sonra, numune hazırlama kademeleri, Al-Ti-B ve Al-Ti-C tane incelticileri için olduğu gibi gerçekleştirildi.

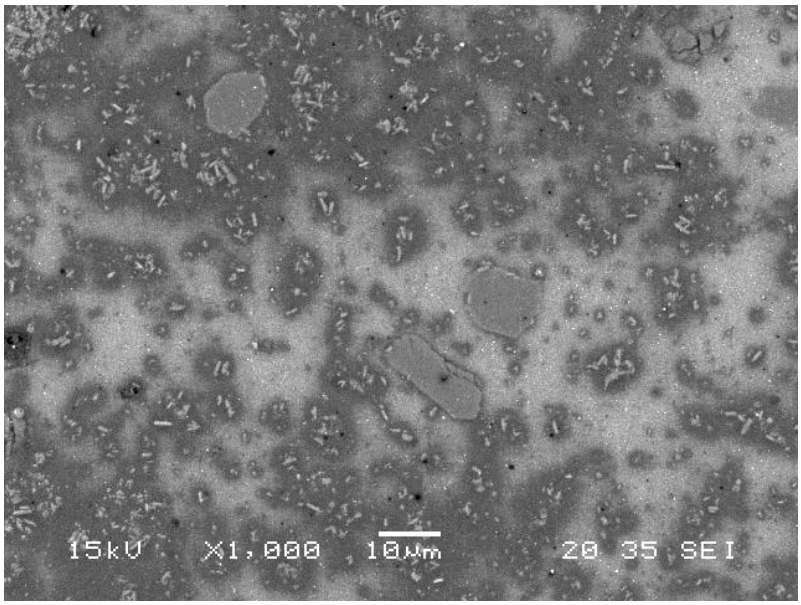
Donma işlemi tamamlandıktan sonra, sırasıyla 120, 500, 800, 1200, 2400 zımparalar ve 3 mikron polisaj ile yüzey uygun hale getirildi. Parlatma sırasında kullanılan Struers Labopol cihazında, 15 dakika boyunca DP-Lubricant Red kayganlaştırıcı sıvı ile birlikte, üç numunenin parlatılması sağlandı. Yapılacak olan SEM görüntülerinin çekimi ve EDS analizleri için, numuneler, Polaron SC 7620 Sputter Coater cihazında kaplandı.

3.3.1 Al-Ti-B tane incelticisi

2 farklı tür Al-Ti-B tane incelticisi için SEM'de görüntü çekilmiş ve EDS (Enerji Saçınım Spektroskopisi) analizleri yapılmıştır. Bunlar, Al - %5Ti - %0.1B ve Al - %5Ti - %0.2B tane incelticileridir. Her iki alaşım da aynı numune kalıbında incelenmiştir.

Al - %5Ti - %0.1B alaşımı için, numunenin dik kesitine yapılan incelemede, Şekil 3.6'da belirtildiği gibi, TiB_2 ve $TiAl_3$ yapıları son derece net bir şekilde

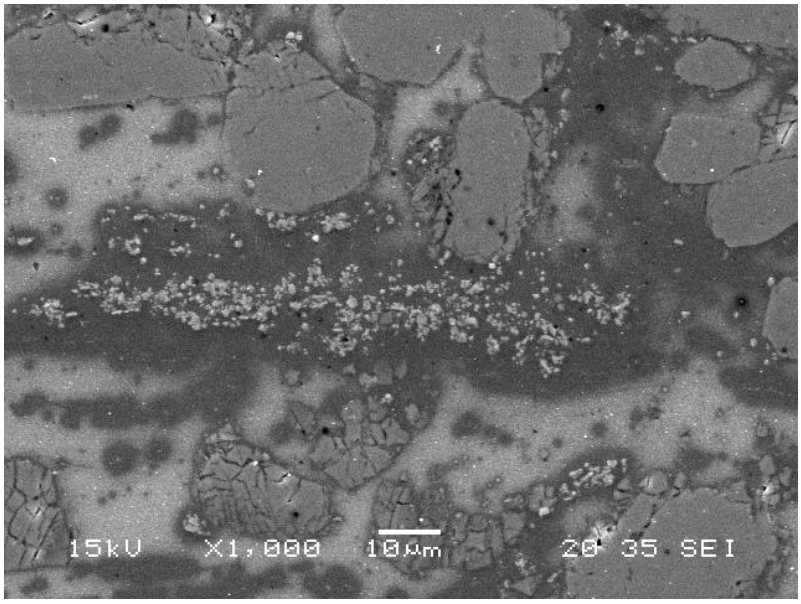
görülmektedir. $TiAl_3$ partikülleri, 10–15 mikron boyutlarındadır. TiB_2 partikülleri ise, ince partiküller halinde, 5-0,5 mikron boyutlarında Al içerisinde bulunmaktadırlar.



Şekil 3.8 : Al-%5Ti-%0.1B numunesinde enine kesitten çekilen SEM görüntüsü

Yine Al - %5Ti - %0.1B alaşımında, numunenin enine alınan kesit görüntüsü için EDS analizi yapılmıştır. Analiz sonuçları Ek C'de belirtilmiş bulunmaktadırlar. Eklerde, boyutları 50-250 mikron arasında değişen $TiAl_3$ partikülleri görülmektedir. Analiz sonuçları, bu partiküllerin titanyum ihtiva ettiğini doğrulanmaktadır.

Aynı reçinede incelenen Al - %5Ti - %0.2B alaşımı için, enine kesitten çekilen SEM görüntülerden bir tanesi, Şekil 3.7'de belirtilmiştir.



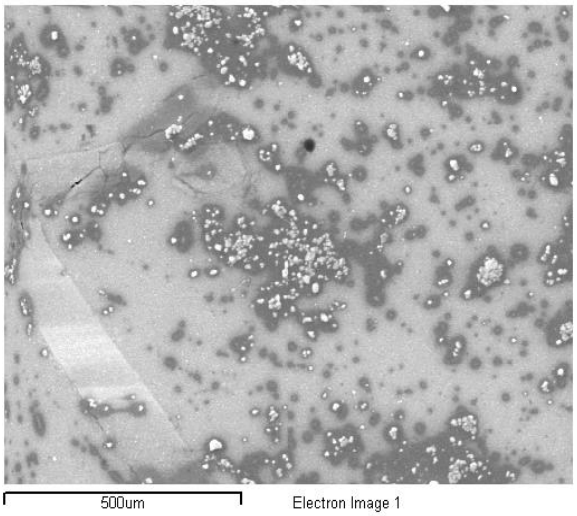
Şekil 3.9 : Al-%5Ti-%0.2B numunesinde enine kesitten çekilen SEM görüntüsü

Yapılan incelemede, Al - %5Ti - %0.2B alaşımında TiB_2 ve $TiAl_3$ partiküllerinin homojen dağılım göstermedikleri görülmüştür. Aynı kesit için yapılan EDS analizleri, Ek C'de belirtilmiştir. Eklerde de görüldüğü üzere, TiB_2 partikülleri bir hat üzerinde dağılmış ve $TiAl_3$'ler etrafında eşit bir dağılım göstermemişlerdir. Aynı şekilde, $TiAl_3$ partikülleri, 500 mikron boyutlarında kalmışlardır ki, bu da homojen dağılımı olumsuz etkileyecek büyüklüktedir.

3.3.2 Al-Ti-C tane incelticisi

2 farklı tür Al-Ti-C tane incelticisi için SEM'de görüntü çekilmiş ve EDS analizleri yapılmıştır. Bunlar, Al - %5Ti - %0.1C ve Al - %5Ti - %0.2C tane incelticileridir. Her iki alaşım da aynı numune kalıbında incelenmiştir.

Al-Ti-C tane incelticilerinde, çekirdeklenme mekanizması TiB_2 partiküllerine değil, TiC ve Al_3Ti partiküllerine bağlıdır. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi, Al - %5Ti - %0.2C numunesinden alınan enine kesit örneğinde, TiC partikülleri 5 mikron ve altında dağılım göstermişlerdir.



Şekil 3.10 : Al-%5Ti-%0.2C numunesinde enine kesitten çekilen SEM görüntüsü

Ek C.'de verilmiş olan EDS analizleri incelendiğinde, karbon ve titanyum benzer bir dağılım göstermişlerdir. Şeklin üst sol kısmında, analizde çıkan ancak resimde göz ile görülmesi zor olan, Al_3Ti partikülleri bulunmaktadır. Şekil C.8'de, TiC olarak belirtilmiş olan partiküllerin analizi yapılmış bulunmaktadır. Görüldüğü gibi, partikülün olduğu düzlemde, Ti ve C oranları artmaktadır. Ancak, genel olarak

yüksek oranda oksijen de yapıda mevcuttur. Al-Ti-B tane incelticilerinde oksijen oldukça daha azdır. Bunun sebebi, Al-Ti-C tane incelticilerinde bulunan karbonun, oksijene olan afinitesindedir.

Al - %5Ti - %0.1C için yapılan analiz, Şekil C.9 ve Şekil C.10'da belirtilmiştir. Analiz sonuçları irdelendiğinde, soldaki küçük partikül ve sağ kısmında bulunan 400 mikron boyutundaki partikül, Ti ve C değeleri açısından yüksek çıkmıştır. Koyu gri olan yapı ise, alüminyum matrisini göstermektedir.

3.3.3 Topaklanan Partikül

Yolluğun alt kısmında, çökelen TiB_2 partiküllerinin topaklanması neticesinde, oluşan aglomere partikülden bir numune alındı. Alınan numune, SEM ve EDS cihazları ile incelenmiştir.

Ek C. 10-14 arası, topaklanma örneğinin analizleri bulunmaktadır. Şekil C.10'da, numunenin boşluklu yapısı görülmektedir. Topaklanma sırasında oluşan boşluklu yapının iç kısımlarının EDS analizleri yapılmamaktadır ancak, cepherlerdeki oksit oluşumu görülebilmektedir. Şekil C.11 ve Şekil C.12'de, gri olarak gözüken kısım, alüminyum matrisi belirtmektedir.

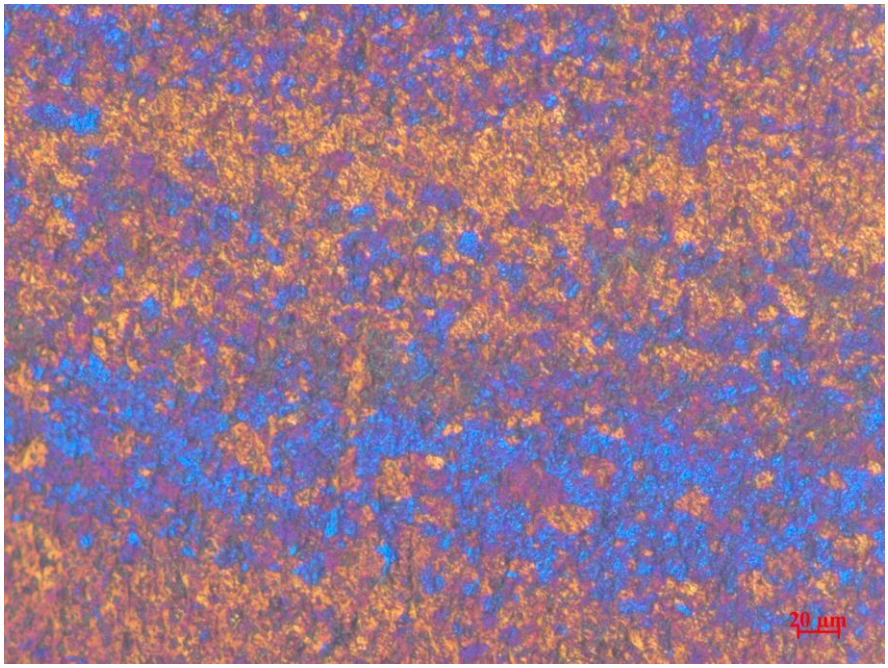
Daha ayrıntılı bir analiz, Şekil C.13 ve Şekil C.14'de yapılmıştır. Yapıda bulunan başlıca elementler, Al, Ti, V, Mn ve Fe'dir. Titanyum, çökelen TiB_2 olarak bulunmaktadır. Al_3Ti, yapıda mevcut değildir çünkü tane incelticinin eklenmesinden kısa bir süre sonra çözünerek, gerekli olan titanyumu sisteme vermektedir. Vanadyum, tane inceltici üretiminde kullanıldığından, analiz yapılan kesitte ağ %1 olarak bulunmaktadır. Fe ve Mn ise, alüminyum alaşımlarında kullanılan elementlerdir. 8006 için yapılan KFG çalışmasında, 8006'nın %1,2-2 Fe ve %0,3-1 Mn içerdiği belirtilmiştir.

TiB_2 partikülleri, Şekil C.14'de sağ kısımda bulunan, yaklaşık 750 mikron uzunluğunda olan yapıya benzer aglomere partiküller oluşturmaktadır. 5 mikrona kadar çıkan partikül boyutları ile, aglomerasyon farklı mekanizmalar sonucunda sağlanmaktadır. İlk olarak, çarpışmalar sonucu meydana gelen aglomerasyon söz konusudur. Başka bir sebep, Al_3Ti katmanlarının sıvı alüminyumda ergimeden önce, partiküllerin birbirlerine yapışmalarını sağlamasıdır. Önemli olan başka bir sebep ise, Ti-B-Al yapımında kullanılan tuzların, topaklanma sırasında etkili olmalarıdır. Bu

sebeptendir ki, Ti-B-Al tane incelticilerinin üretiminde, daha temiz ve daha az yan ürün içeren mamuller hedeflenmektedir.

3.3.4 Nihai tane boyutları

Şekil 3.11, 8006 mutfak folyosu için nihai tane boyutlarını göstermektedir. Görülebildiği gibi, folyonun nihai tane boyutu 5-6 mikron arasındadır. İkiz merdane dökümden sonra, 5 mm kalınlıkta dökülen ürünler, öncelikle rulo haline getirilip hattan çıkarılmakta, sonradan ise tekrar tav fırınlarına veya haddelemeye yerleştirilmektedir. Dolayısıyla, nihai tane boyutundaki etki, ancak 5 mm'lik ilk ürünler incelenerek görülebilir.



Şekil 3.11 : 8006 mutfak folyosu nihai tane boyutu

Dolayısıyla, levhanın, fakrlı oranlarda TiBor beslenmesi ile tane boyutlarındaki değişimi görmek için, 4 farklı oranda levhaların kama kesitlerine bakmak mümkündür. Bu kesitlerin, rahat bir şekilde karşılaştırma için görüntüleri Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12 : Farklı oranlarda TiBor ile tane boyutları

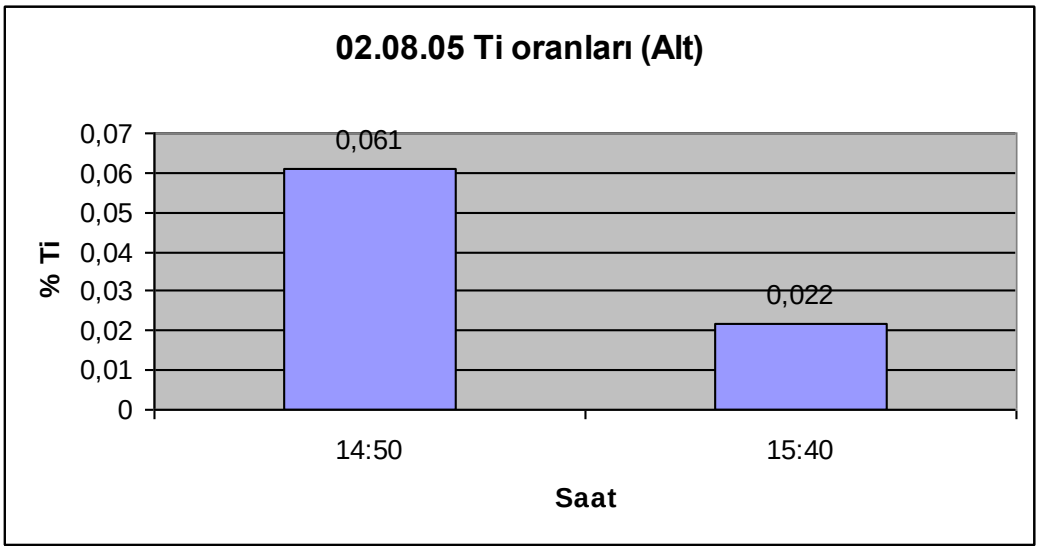
Şekilden görülebildiği gibi, hepsi 1050 alaşımı olan kama kesitlerinde, tane boyutu gittikçe azalmaktadır.

3.4 Deneysel Çalışma

Deneysel çalışma, deney öncesi numunelerin alınması ve deney düzeneğinin oluşturularak deneyin gerçekleştirilmesi olmak üzere iki bölümde ele alınmaktadır.

3.4.1 Deney öncesi numuneler

Deneyin yapıldığı yolluk kısmı, karıştırmadan oldukça önemli derecede etkilenmektedir. Bunu, deneyin gerçekleştirilmesinden önce alınan numunelerde görmek mümkündür. Şekil 3.15'de görüldüğü gibi, yolluğun alt kısmından alınan numunede ilk olarak %0.061 olarak spektrometrede belirtilen Ti yüzdesi, 1 saat sonra aynı bölgeden yapılan numune alımında %0.022 olarak okunmuştur.



Şekil 3.13 : Sadece numune alımı sırasında gerçekleşen karıştırmanın etkisi

Üçte iki oranında olan bu azalma, alt kısımlara çöken ve yoğunluğu 4.5 g/cm^3 olan TiB_2'nin, çok az bir karıştırmadan etkilendiğini göstermektedir.

3.4.2 Deneyin gerçekleştirilmesi

Deneyin gerçekleştirilmesi için, çıkan sorunlar sebebiyle iki farklı deney düzeneği oluşturuldu. Birinci deney düzeneği, Ek D'de, Şekil D.1'de belirtilmiştir. L şeklinde olan deney düzeneğinin üstünde, karıştırmayı sağlamak içni bir matkap bulunmaktadır. Assan'da düzenek için yapılan çalışmalarda, çok daha güçlü motorlar bulunmasında rağmen, yolluğun üzerindeki sıcaklığı dayanacak şekilde bir soğutma sağlanamadı. Ancak daha karmaşık bir aparat ile (en az 2m genişliğinde olan ve birden fazla fan ile soğutulan ve sıcaklığı ölçülen) sorunun çözülmesinin mümkün olduğu belirtildi ve ilk etapta deney için bu maliyetten kaçınıldı. Dolayısıyla, kendi soğutma sistemi içinde olan ve karıştırma sağlayabilecek çözüm olarak matkap önerildi. Matkap, bez ile sarıldı ancak hava alan kısımları kesilerek açıldı.

03.08.05 tarihinde gerçekleştirilen ilk denemede, 4. döküm hattı (DH4) seçildi. 1050 alaşımının döküldüğü hatta, 41-43 cm/dk arasında değişen hızlarda TiBor beslenmekte idi. QFD 8006 için yapılmış olmasında rağmen, deney tarihlerinde 8006 dökülmemekteydi. Ancak, ilişkiler açısından veya kalite evlerinin sonuçları açısından hiç bir farklılık olmamakta ve sadece teknik hedeflerdeki sayılar değişmektedir. Ayrıca 8006 ve 1050 alaşımlarında aynı hızda TiBor beslendiği için, deney sonuçları, her iki alaşım için de faydalı olacaktır. Tek değişken, alaşımdaki elementlerdir. Teorik kısımda anlatıldığı gibi, her elementin TiBor üzerindeki etkisinin saptanması bir yana, TiBor'un çekirdeklenme mekanizması halen tam olarak bilinmemektedir. Dolayısıyla, karıştırma deneyi için 1050 uygun görülmüştür.

Matkap, karıştırıcıya tornada hazırlanan bir ara parça ile bağlandı. Matkabın ucunda gözüken beyaz kısım, numunelerin alındığı alümina bazlı, seramik köpük malzeme. Denemeye başlamadan önce, açık alanda yapılan denemede, L şeklindeki düzeneğin sallandığı ve karıştırıcının salınımının çok yüksek olduğu gözlendi. Deneye bu belirtilere rağmen başlandı ancak salınımın, 7 cm'lik karışıtırıcı çapı ile 8 cm'lik yolluk içi genişiliğinden daha fazla olması sebebiyle, deney başarısız oldu. En büyük faktör, ilk etapta L şeklindeki düzeneğin uygun olmaması ve dengede durmadığından problem yaratması olarak belirlendi. İkinci önemli faktör ise, bağlantı parçasının çok kısa imal edilması ve dolayısıyla salınımı engelleyememesi olarak belirlendi. Bu

durumda üretilen 2 çözüm, düzeneğe ek parça kaynatılması ve yeni bir deney düzeneğinin oluşturulması idi. Assan çalışanlarından Sayın Hüsnü Özbek, üç bacaklı yeni bir deney düzeneği önerdi ve ilk olarak bu düzenek imal edildi (Şekil D.2). Aynı zamanda, bağlantı parçası daha uzun yapılarak, yaratacağı salınımın önüne geçmeye çalışıldı. 2. deney düzeneği, matkabı çok iyi bir şekilde tutmasında rağmen, her üç bacağı ayarlamalı olduğu için, üretim ortamında düzeneği tam olarak ayarlamak oldukça fazla gayret gerektirmekte idi.

04.08.05 tarihinde, DH4'te merdanelerde çıkan bir sorundan dolayı, deney gerçekleştirilemedi. DH4 ve DH5'te 1050 üretildiğinden ve her ikisine de aynı hızda TiBor beslendiğinden, herhangi birisinde karıştırma yapıp, diğerindeki birikmeyi gözlemek amaç olarak belirlenmişti, ancak DH4 ve DH5 ile ilgilenen çalışanların, makine duruşu sebebiye vakit ayırmaları mümkün değildi.

05.08.05 tarihinde, 2. deney düzeneği denendi, ancak daha önce de bahsedildiği gibi, yüseklik ayarlaması, 690°C sıcaklıktaki sıvı alümiyumun hemen üzerinde, her üç noktadan teker teker anahtar ile sıkılması, son derece büyük zorluk yaşattı. Bununla beraber, sıcaklık ile somunlarda meydana gelen gevşeme, dönme sırasında oluşan torku doğrudan düzeneğe taşıyor ve bütün deney setinin yerinden oynamasına sebebiyet veriyordu. İkinci bir sorun ise, matkap ucundaki asıl salınımın, matkabın içine giren pim kısmının, artan sıcaklıkta matkap tarafından tutulamaması yüzünden olduğunun belirlenmesi ile ortaya çıktı. Çözüm olarak, pime ince bir şerit kaynak çekildi (matkabın iti tutuş sağlaması için) ve 1. deney düzeneğinin ayağına yaklaşık 20 kg'lık bir parça kaynatıldı. Böylece, bütün salınım ve titreşim sorunları ortadan kaldırıldı.

Sabah 09:00'da başlayan denemeler sonucunda, deneye 15:30'da başlanabildi. DH5'e kurulan ve 1rpm hızında çalıştırılan karıştırıcı, 3 saat süren deneyin 2 saati boyunca çalıştı. Deneyin başında DH4'ten de numune alındı ancak her saat başında DH5'ten numune alınmasına ramen, DH4'te sadece deney sonunda alındı (herhangi bir karıştırma yaratmamak için). 15:30 – 16:30 boyunca aralıksız çalıştıktan sonra, 18:30'a kadar yarım saat aralıklar ile karıştırıcı durduruldu. Bunun sebebi, sıcaklıktan dolayı devrelerinin ısınması ve beklenmedik şekilde hızlı karıştırarak, yolluk iç yüzeyine çarpması idi.

Tek sorun, saat 17:00 – 17:30 civarında, DH5'teki alaşımın 5005'e geçmesi idi. Sıcaklık 687°C'den 700°C'ye çıkartıldı ancak TiBor hızı aynı tutuldu. Mg'nin, TiBor çözünürlüğü üzerinde belirlenmiş herhangi bir etkisi bulunmamaktadır ancak doğal olarak çözünürlükte belirli değişimlerin olması olası bir durum. Deney sırasında elde edilen veriler, aşağıda Tablo 3.1'de belirtilmiştir.

Tablo 3.1 : Deney verileri

Saat	t (dk)	4. Hat	5. Hat
09:10	0	0,066	
09:13	3		0,016
09:45	35	0,016	
09:48	38		0,024
10:13	63	0,015	
10:15	65		0,014
15:30	380	0,018	
15:32	382		0,07
17:07	417		0,013
17:30	440		0,018
18:30	500		0,02
18:34	504	0,028	

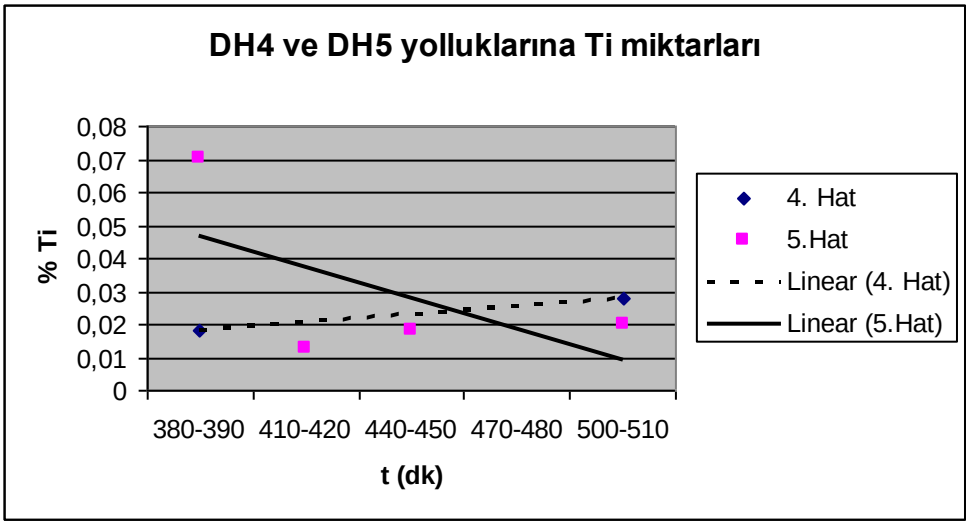
Tablo 3.7'den görülebildiği gibi, DH5'te yapılan ve DH4'ün karşılaştırma amacı ile kullanıldığı deneyde, sabah alınan numunelerde daha yüksek oranlarda Ti bulunmuştur. 09:13'te yapılan ölçümden önce, spektrometrenin okuyamadığı bir Ti değeri elde edildiğinden, o veriler burada belirtilmemiştir ancak yine de karıştırma söz konusu olduğundan, ilk değer DH4'ten daha düşük çıkmıştır. 16:30'da gerçekleştirilen ölçüm de spektrometrede uygun sonuç vermediğinden, 17:00'da tekrar ölçüm yapılmıştır.

DH 5'te niye 5 saat içerisinde bu kadar yüksek birikme olduğu göze çarpan unsurlar arasında. Üretim hattında, ilk numune ölçümleri yapıldıktan sonra, Tibor besleme hızının 45 cm/dk'nın üzerine çıkarıldığı öğrenilmiştir. Deney başlarken ise her iki hatta da aynı hıza (41-43 cm/dk) getirilmiştir.

Deney, 15:30'da başlamıştır ancak bundan önce, DH5'te kurulum çalışmaları diğer deney seti ile denenmiştir. 15:30 – 16:30 arası karıştırma sürekli yapılmştır. 16:30 – 17:00 arası karıştırma durdurulmuş, 17:00 – 17:30 arası tekrar karıştırma yapılmıştır. 17:30 – 18:00 arası karıştırma yine durdurulmuş ve 18:00 – 18:30 arası karıştırma tekrar yapılmıştır.

Saat 17:00 – 17:30 arasında 5005 alaşımına geçildiğinden, sıcaklık 687°C'den 700°C'ye çıkarıldı. Dolayısıyla, 17:00 – 18:30 arasında, sıcaklıkta 13°C'lik bir artış meydana geldi.

15:30'dan itibaren, karıştırmanın başlaması ile olan sonuçlar Şekil 3.16'da belirtilmiştir.



Şekil 3.14 : Deney verilerinin grafiksel gösterimi

Grafikte belirtilmiş olan eğimler, aslında karıştırıcının etkinliğini değil, yalnızca karıştırmanın bir etki yarattığını göstermektedir. Aslında, ilk ölçümden sonra Ti yüzdesi DH5 için yaklaşık aynı aralıkta kalmıştır. Yani, karıştırma sadece belirli bir mertebede tutmuştur.

Deney bitiminde, her iki hattan da, normalde numune alınan yerden 1 m ileride, ikiz merdanelere daha yakın olan noktalardan numune alınmıştır. Sonuçlar, Tablo 3.2'de belirtilmiştir:

Tablo 3.2 : İkiz merdanelere yakın alınan numunelerin Ti oranları

	4. Hat	5. Hat
18:35		0,0117
18:45	0,023	

Tüm bu verilerin yorumlanması, sonuçlar ve tartışma kısmında bulunmaktadır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tez çalışması, giriş bölümünde bahsedildiği gibi, KFG ve TRIZ'in ürün geliştirmede bütünleşik bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacını taşımakta idi. Belirlenen bu amaç doğrultusunda, KFG uygulaması, KFG'den TRIZ'e geçiş, TRIZ uygulaması ve deneysel çalışmalar yorumlanacaktır.

İlk olarak, KFG çalışması, müşteri isteklerini nihai ürüne taşıma amacı taşımaktadır. Çalışma içerisinde yapılan Kalite Ev'leri, 8006-0 için bu süreci açıklamıştır. Ancak, unutulmamalıdır ki, KFG'nin en önemli girdisi olan ve sürecin temelini oluşturma müşteri istekleri, pazarlama araştırmaları ile elde edilmemiştir. KFG sürecindeki diğer önemli nokta ise, takım çalışması ile değil, bireysel olarak tez amaçları doğrultusunda çıkarılmış olmasıdır.

Yukarıda belirtilen eksiklikler dışında, KFG'de tüm önceliklendirmeler, ilişkiler ve verilebildiği yerde tüm sayısal hedefler belirtilmiştir.

KFG–TRIZ ara yüzünde, 1. Kalite Evi'nin çatısında son derece net bir şekilde belirtilen çelişkiler doğrultusunda TRIZ'e geçiş yapılmıştır.

TRIZ uygulaması içerisinde, en önemli iki kısıtlama olan TiB_2'nin tane inceltme sürecinin bilinmemesi ve maliyet kısıtlamaları zaten belirtilmiş bulunmaktadır. Ancak, önemli bir soru, gerçekten yaratıcı bir çözümün, her ne kadar uygulanmasa da, sağlanıp sağlanamadığıdır.

Bu bağlamda, toz püskürtme olgusunun zaten bazı alaşımlandırma ünitelerinde kullanıldığı çeşitli kaynaklarda belirtilmektedir. Dolayısıyla, yepyeni bir çözüm söz konusu değildir. Ancak, literatürde, toz püskürtmenin sorunlarından bahsedilmekte ve uygulamanın kesinlikle yaygın olmadığı da eklenmektedir. Gerekçe olarak, toz püskürtmenin yaratmış olduğu sorunlar gösterilmektedir. Başlıca sorunlar, tozun taşınmasındaki problemler, püskürtücü uç sorunları ve tozun oksit tabakasına karışmasıdır. Neticede, TRIZ'in doğrudan uygulanabileceği spesifik bir alan mevcuttur. Bahsedilen tüm sorunlar, toz kullanımı ve dolayısıyla da verimliliğin arttırılması önünde duran engeller veya çelişkilerdir.

Diğer taraftan, TiB_2 çekirdeklenme modelinin bilinmemesi, doğru prensip yaklaşımının getirilip getirilmediği konusunda ciddi soru işaretleri oluşturmaktadır. Neticede, yeni bir metot bulunmasa da, 40 prensip gelişimin yönünü etkin olan tayin edilmelidir. Edilemiyorsa, problem teknikte değil, uygulama şeklindedir. Örneğin, son derece faydalı bir yöntem olan ultrasonik titreşim için herhangi bir yorum yapılamamıştır. Buna gerekçe olarak, temel madde alan analizi ile mikro seviyede inceleme yapılamadığı için, aslında daha farklı bir yaklaşımın geliştirilememesi gösterilmektedir.

Karıştırıcı deneyinde ise 2 büyük sorun bulunmaktadır. Birincisi, deney düzeneğinde, istikrarlı karıştırma sağlayacak bir yaklaşımın geliştirilmesi gerekmektedir. İkincisi ise, numune alış şeklidir. Numuneler, ilk olarak, Assan'da imal edilmiş büyük metal "şırınga"lar vasıtası ile alınacaklardı. Ancak, fabrikada bulunan toplam 3 şırınganın hiç birinin çalışmaması dolayısıyla, sıvı metalin yüzeyinden alınan numune şekline benzer bir yöntem kullanıldı. Seramik külah şeklindeki hazneler ile numune alındığından, dipten numune almak için bu külahlar 1/3 uzunluğunda kesilerek, yolluğa daldırılarak sıvı metal örneği alınmakta idi. Yani, yüzeyden itibaren, üstü açık olan bir numune kabı, sıvıya daldırılmakta ve dipten sürterek tekrar çıkarılmakta idi. Tabii ki burada yüzeyden giren sıvı alüminyumun, sonuçları değiştirmesi söz konusu olabilir.

Neticede, imal edilen karıştırma düzeneği ile uzun vadede, % 0,02 mertebelerinde karışımı tutma söz konusu olabilir. Karıştırmanın yapıldığı DH5'te, değerlerin 17:00–18:30 arasında 0,007 mertebesinde arttığı görülmektedir. Ancak, numune alma düzneği bu hassasiyette değildir. Dolayısıyla, karıştırma bölgesi için, 0,06-0,07 % Ti değerlerinden, 0,002 % Ti değerlerine inildiği söylenebilir.

Ancak, karıştırıcı başlığının seçimi veya hızının etkisinden çok, karıştırmanın yapılması daha ön plandadır. Deneyin gerçekleştirilmesinden 2 gün önce alınan ölçümlerde de, sadece bir ölçüm ile, aynı oranda etki sağlanmıştı. Karıştırıcının, yüzeyde çalkalanma ve oksit tabakasını bölmeyecek şekilde 1 rpm hızda dönerken, seçilen karıştırıcı başlığı ile aslında tek gerçekleştirdiği işlev, devamlılığı sağlamaktır.

Deney sonunda, numune alınan bölgeden 1 m ileride alınan numunelerdeki değerler Tablo 3.2'de belirtilmiştir. İlk etapta, 5. hat için sonuçların 0,06 mertebelerinden

düşük olması, karıştırıcının başarısı olarak algılanabilir ancak, başka bir açıklama da getirilebilir bu konuda. Daha büyük olan aglomere partiküller, ilk kısımlarda hızla çökelirler. Daha küçük olan partiküller ise son kısma kalmaktadırlar. Dolayısıyla, tam ikiz merdanelerden önce çökelen miktarlar daha az olacaktır. Deney öncesinde bu kısımlardan numune alınmamasının sebebi, yaratacağı karıştırma etkisinin çok uzun süreli bir farklılık yaratmasından endişe duyulmasıdır. Deney boyunca numune alınan bölgelerde olduğu gibi buralardan önceden ölçü alınıp, değerlerinin düşmesi beklenip aradaki fark ölçülebilirdi ancak deney süresinin kısalığı yüzünden, yeterli bir birikme sağlanamayabilirdi.

Assan'da, tez çalışmasından önce yapılan ölçümlerde, nihai üründeki Ti değerinin % 0,016 olduğu tespit edilmiştir. Bu da, ton başına 0,16 kg demektir. Ton başına 8 kg harcanıldığı düşünülürse, verimlilik % 0,2 mertebelerindedir. B oranları ölçülemediği için, oranlar Ti üzerinden hesaplanmaktadır (Tane inceltici: Al-5Ti-0.2B)

Bütün süreci özetlemek gerekirse, QFD ile öncelikler belirlendi, ve hedef olarak 8 kg/t TiBor'dan 7 kg/t mertebelerine düşülmesi hedef olarak konuldu. TiBor'un ton başına değeri 2600 Euro olduğundan, 8 kg/t harcamada, 1 ton folyoda 20.8 Euro harcanmaktadır. Aylık toplam üretim 10.000 ton olarak alındığında, ayda 20800 Euro demek oluyor. 7 kg/t ise, ayda 18200 Euro harcamaya tekabül ediyor. Dolayısıyla, 7kg/t seviyesine inilerek, ayda 2600 Euro, yılda ise 31200 Euro tasarruf yapılabilir. Bunun için gereken besleme hızı da 35 cm/dk. Bu da QFD'de belirtilmiştir. Aynı şekilde, duruş sürelerinin bakım sırasında yolluğun temizlenmesi sebebiyle yüksek olması ve TiB_2'nin tip kısmına girme riskinin azaltılması söz konusu idi.

TRIZ'de ise, bu soruna nasıl bir çözüm bulunabileceği üzerinde duruldu. Birden fazla yöntem öneri olarak mevcut idi fakat mali kısıtlamalar sebebiyle, karıştırıcı yöntemi tercih edildi. Tez çalışmasında önerilen karıştırıcıların, imal edilen karıştırıcıdan, 1 rpm hızda daha yüksek karıştırma sağlayabileceklerine inanılmaktadır çünkü alüminyumun viskozitesi 1.7 mPas mertebelerindedir.

Deney düzeneği ile ilgili ve vakit ile ilgili kısıtlamalar göz önünde bulundurulduğunda, deneylere devam edilmesi gerektiği açıktır ve Assan'da bu projeye devam edilmektedir. Dayanıklı bir düzenek ile ve birden fazla noktadan karıştırarak, birden fazla 11 tonluk bobinin analizleri yapılabilir ve karıştırmanın sadece dipteki Ti miktarını değiştirmekten öte, ki bu da duruş sürelerini

etkilemektedir ve faydalı sonuçlar doğuracaktır, ürün bazında TiBor maliyetini indirme olasılığı söz konusu olacaktır.

KAYNAKLAR

[1] **Cohen, L.,** 1995. Quality Function Deployment: How to Make QFD Work for You, Addison Wesley Longman, Massachusetts.

[2] **Bossert, J. L.,** 1991. Quality Function Deploment: A Practitioner's Approach, ASQC, Wisconsin.

[3] **King, B**., 1989. Better Designs in Half the Time, 3rd Edition, GOAL/QPC.

[4] **Gonzales, M.,** 2001. QFD Application in different countries, a comparison of an exploratory study in Brazil with other surveys.

[5] **Herzwurm, G., Ahlemeir G., Schockert S., Mellis W.,** QFD- Institut Deutshland e. Germany., 2-10.

[6] **Schmidt, Ralf,** 1997**.** The Implementation of Simultaneous Engineering in the Stage of Production Concept Development:A Process Orientated Improvement of Quality Function Deployment , *European Journal of Operational Research,* **100**, 293-314.

[7] **Mazur, G.**, 1995, Theory of Inventive Problem Solving, http://www.personal.engin.umich.edu/~gmazur/triz.

[8] **Domb, E.,** QFD and TIPS/TRIZ, http://www.triz journal.com/archives/1998/06/c/ index.htm.

[9] **Rovira, N.L., Aguayo, I.H.,** 1998. A New Model of the Conceptual Design Process using QFD/FA/TRIZ, *10th Annual QFD Symposium.*

[10] **Savransky, S. D.,** 2000. Engineering of Creativity, Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving. CRC Press, USA.

[11] **Christensen, C. M.,** 2002. The Innovator's Dilemma: The Revolutionary Book That Will Change the Way You Do Business, HarperBusiness Essentials, USA, xi-xxxii.

[12] Center for Quantum Computation, www.qubit.org.

[13] **Mann, D**., 2004. Comparing the Classical and New Contradiction Matrix: Part 1: Zooming Out, *TRIZ Journal, April 2004*, 1-5.

[14] Contradiction Matrix, http://www.triz-journal.com/archives/1997/07/matrix.xls.

[15] **Terninko, J.**, 2000. Su-Field Analysis, Responsible Management Inc.

[16] **Mann, D.,** 2003. Better Technology Forecasting Using Systematic Innovation Methods, *Technological Forecasting and Social Change, **70***, 779-795.

[17] **Mann, D.**, 2004. Fan Technology: Evolutionary Potential and Evolutionary Limits, *TRIZ Journal, December 2006*, pp. 18-26.

[18] **Yun, M., Lokyer, S., Hunt, J.D.,** 2000. Twin Roll Casting of Aluminium Alloys. *Material Science and Engineering,* **A280**, 116-123.

[19] **Cooper, P.S. and Fisher, P.,** 1994. Grain Refining of Strip Cast Aluminium, *Metallurg Aluminium.*

[20] **Kearns, M.A., Thistlethwaite, S.R. and Cooper, P.S.,** 1996. Recent Advances in Understanding the Mechanism of Aluminium Grain Refinement by TiBAI Master Alloys, *Metallurg Aluminium.*

[21] **Cooper, P., Jacop, A., Detomi, A.,** 1999. Additive Developments in the Aluminium Industry, *Metallurg Aluminium.*

[22] **Kumar, G.S.V., Murty, B.S., Chacraborty, M.,** 2005. Development of Al-Ti-C Grain Refiners and Study of Their Grain Refining Efficiences on Al and Al-7Si Alloy, *Journal of Alloys and Compounds.*

[23] **Xiangfa, L., Zhenging, W., Zuogui, Z., Xiufang, B.,** 2002. The Relationship Between Microstructures and Refining Performances of Al-Ti-C Master Alloys, *Material Science and Engineering,* **A332**, 70-74.

[24] **Department of Energy**, 2000. New Process for Grain Refinement of Aluminum, Final Report, September 2000

[25] **Kurz, W and Fisher, D.J.,** 1998. Fundamentals Of Solidification. Trans Tech Publications LTD, USA.

[26] **Kashyap, K.T. and Chandrashekar, T.,** 2001. Effects and Mechanism of Grain Refinement in Aluminium Alloys, *Indian Academy of Sciences, Bull. Mater. Sci., Vol. **24**, No. 4, August 2001*, pp. 345-353.

[27] **Lee, C., Chen, S.,** 2002. Quantities of Grain of Aluminium and Those of TiB_2 and Al_3Ti Particles Added in the Grain-Refining Processes, *Material Science and Engineering*, A325, 242-248.

[28] **Easton, M.A. and StJohn, D.H.,** 2001. A Model of Grain Refinement Incorporation Alloy Constitution and Potency of Heterogeneous Nucleant Particles, *Acta Mater.* **49**, 1867-1878.

[29] **Iqbal, N., Dijk N.H., Verhoeven, V.W.J., Hansen, T., Katgerman, L., Kearley, G.J.,** 2004. Periodic Structural Fluctations During the Solidification of Aluminum Alloys Studied by Neutron Diffraction, *Material Science and Engineering*, **A 367**. 82-88.

[30] **Cooper, P. S., Borge G.,** 2001. Compacted Product Additives for the Aluminium Casthouse: Technical Reference Guide, *Metallurgy Aluminium.*

[31] **Limmaneevichitr, C., Eidhed, W.,** 2003. Novel Technique for Grain Refinement in Aluminum Casting by Al-Ti-B Powder Injection, *Materils Science and Engineering*, **A355**, 174-179.

[32] **Monnier, H., Wilhelm, A.M., Delmas, H.,** 1999. Influence of Ultrasound on Mixing on the Molecular Scale for Water and Viscous Liquids, *Ultrasonic Sonochemistry*, **6**, 67-74.

[33] **Harnby, N., Edwards, M.F., Nienow, A.W.**, 1985. Mixing in the Process Industries., Butterworths, London, 113-144.

[34] **Dinsdale, A.T., Quested, P.N.,** 2002. The Viscosity of Aluminum and its Alloys – A Review of Data and Models, NPL Materials Center, London

ÖZGEÇMİŞ

Erhan Eryurt 1981 yılında Ankara'da doğdu. İlköğreniminin bir kısmını İngiltere'de Bishop Gilpin School'da, bir kısmını ise Hollanda'da The British School in the Netherlands'da tamamladı. 1993 yılında Türkiye'ye kesin dönüş yaparak, TED Ankara Koleji'nde öğrenimine devam etti ve 1998 yılında mezun oldu. 1998 yılında İTÜ Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümüne girdi ve 2002 yılında mezun olduktan hemen sonra, bir danışmanlık şirketinde çalışmaya başladı. Aynı yıl, İTÜ Malzeme Mühendisliği Yüksek Lisans programına kabul edildi.