



**TRIZ METODOLOJİSİ KULLANARAK MODÜLER VE YENİDEN
UYUMLANDIRILABİLİR BİR EYLEYİCİ KONTROL DONANIM
PLATFORMU GELİŞTİRİLMESİ**

Ekrem Bilgehan UYAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2019

Ekrem Bilgehan UYAR tarafından hazırlanan “TRIZ METODOLOJİSİ KULLANARAK MODÜLER VE YENİDEN UYUMLANDIRILABİLİR BİR EYLEYİCİ KONTROL DONANIM PLATFORMU GELİŞTİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Nihat ÖZTÜRK

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Hamit ERDEM

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Başkent Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Ramazan BAYINDIR

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 19/09/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....
Ekrem Bilgehan UYAR

19/09/2019

TRIZ METODOLOJİSİ KULLANARAK MODÜLER VE YENİDEN
UYUMLANDIRILABİLİR BİR EYLEYİCİ KONTROL DONANIM PLATFORMU
GELİŞTİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Ekrem Bilgehan UYAR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2019

ÖZET

Rekabetçi mühendislik çözümlerinin gereksinim değişikliklerine hızla uyum sağlayan, yaratıcı zihin işçiliğinin niteliğini ve etkinliğini arttırabilen “çevik” tasarım süreçleri ile elde edileceği öngörülmektedir. Bu öngörüden yola çıkan bu tez çalışması ise, havacılık endüstrisinde önemli bir alt sistem olan elektromekanik kontrol sistemlerinin (EKS) ana bileşenlerinden eyleyici kontrol elektroniklerine (EKE) Yenilikçi Problem Çözme Teorisini (TRIZ) uygulayarak elde edilen bir mühendislik çözümüyle tasarım sürecinde çevikliğin arttırılmasını hedeflemektedir. Yapılan araştırma sonucu TRIZ araçlarının bütün olarak yeterince ele alınmadığı, teorinin tamamının bazı TRIZ araçlarının gölgesinde kaldığı ve elektronik mühendisliği uygulamalarının sınırlı olduğu bulgularına ulaşılmıştır. Bu bulgulara dayanarak Altshuller’in üç önemli çalışmasındaki ana fikirler ve kullanılan araçlar gözden geçirilmiş, EKS’lere TRIZ’in uygulanması için ihtiyaç duyulan metodolojik çerçeve çizilmiştir. EKE’nin geliştirme senaryosu üzerinden analiz edilen kullanım durumları, geliştirme sürecinin çevikleştirilmesine duyulan ihtiyacı göstermekte, EKE’nin işlevsel analizi ise bu ihtiyacın karşılanmasını teknik bir dizi çelişkinin engellediğini göstermektedir. Bu çelişki, derleyici nitelikteki bir TRIZ aracı olan ARIZ’in uygulanması ile çözümlendirilebilmiştir. TRIZ’in hedef aldığı problem uzayında karmaşık olmayan problemlerden birisi olduğu ortaya çıkan bu teknik çelişkinin kökeninde elektronik devre tasarım değişikliğinin zaman almasının ve maliyetli bir süreç olmasının yattığı tespit edilmiş, çelişen mühendislik problemlerine karşılık standart çözüm prensipleri elde edilmiştir. Standart çözüm prensiplerinin bütünsel olarak ele alınması ile elde edilen özgün işlevlere sahip modüler yapıdaki platform yapısı tanıtılmış, işlevleri, özellikleri ve sınırlamaları tanımlanmıştır. Laboratuvar ortamında enstrumantasyon girişimleri ile de denenerek gereksinimlere ne kadar cevap verebildiği incelenmiş ve olumlu sonuç alınmıştır. Bu çalışmanın TRIZ’in gelecekteki elektronik tasarım uygulamaları için bir örnek teşkil edeceği, ulaşılan mühendislik çözümü ile EKS geliştirme süreçlerinin çevikleşmesine yardımcı olacağı değerlendirilmektedir.

Bilim Kodu : 90517
Anahtar Kelimeler : Yenilikçi Problem Çözme Teorisi (TRIZ), elektromekanik eyleyici, modüler, uyumlandırılabilir, çevik, kontrol sistemi
Sayfa Adedi : 113
Danışman : Prof. Dr. Nihat ÖZTÜRK
İkinci Danışman : Dr. Murat ŞAHİN

DEVELOPMENT OF A MODULAR AND RECONFIGURABLE ACTUATOR
CONTROL HARDWARE PLATFORM BASED ON TRIZ METHODOLOGY

(M. Sc. Thesis)

Ekrem Bilgehan UYAR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2019

ABSTRACT

It is envisaged that competitive engineering solutions will be achieved through “agile” design processes that adapt rapidly to changes in requirements and increase the quality and effectiveness of creative labor. Based on this prediction, this thesis aims to increase the agility in the design process by applying the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) to the actuator control electronics (ACE), which is one of the main components of the electromechanical control systems (ECS), an important subsystem in the aviation industry. As a result of the conducted research, it was found that TRIZ tools are not handled holistically, the whole theory is overshadowed by some TRIZ tools, and electronic engineering applications are limited. Based on these findings, the main ideas and tools used in Altshuller's three important studies were reviewed and the methodological framework needed to implement TRIZ to the ECS's was established. The use cases analyzed through the ACE's development scenario indicate the need for agile development of the development process, while the functional analysis of the ACE shows that several technical contradictions prevent it from being met. These contradictions could be solved by the application of ARIZ, an organized compiler TRIZ tool. It was determined that electronic circuit design changes were time consuming and costly process and the standard solution principles were obtained against contradictory engineering problems. The platform structure in modular structure with unique functions obtained by taking standard solution principles as a holistic approach is introduced and its functions, features and limitations are defined. It has also been tested with instrumentation attempts in the laboratory and how much it can meet the requirements has been examined which resulted with positive outcomes. It is considered that this study will serve as an example for future electronic design applications of TRIZ and will help to agile the development of the ECS development process with the engineering solution obtained.

Science Code : 90517
Key Words : Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ), electromechanical actuator, modular, reconfigurable, agile, control system
Page Number : 113
Supervisor : Prof. Dr. Nihat ÖZTÜRK
Co-Supervisor : Dr. Murat ŞAHİN

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın tamamlanmasını bilgi, tecrübe ve sabırları ile mümkün kıldıkları için, danışmanlarım Prof. Dr. Nihat ÖZTÜRK ve Dr. Murat ŞAHİN'e;

Bu çalışmanın yürütülmesini ihtiyaç duyulan her desteği sunarak mümkün kıldığı için, Türk Silahlı Kuvvetlerini Güçlendirme Vakfı'nın bir kuruluşu olarak bir ulusun göklerdeki istikbalini mümkün kılmaya çalışan ROKETSAN'a;

Bu çalışmanın başlayabilmesine ilham kaynağı olan gelişmelere zemin hazırladıkları için, TFS Kontrol Sistemleri Tasarım Müdürlüğü yöneticilerine;

Bilgelik yolunda mütevazı adımlarla dinlenmemek üzere yola çıkmamı sağladıkları için, değerli Anneme ve Babama;

Bu yolculuğun keyifli olacağını sonsuz sevgisi ve esirgemediği emeği ile hissettirdiği için, sevgili Eşime,

Minnetle teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. TRIZ’İN ORTAYA ÇIKIŞI, GÜNÜMÜZDEKİ YERİ VE TEMEL BULGULARI	7
2.1. TRIZ’in Ortaya Çıkışı ve Günümüze Ulaşması	7
2.2. Günümüzde TRIZ ve Elektronik Mühendisliğinde Kullanımı	10
2.3. TRIZ’in Temel Bulguları ve Sistematik Yenilikçilik	19
2.3.1. TRIZ’in temeli ve “Buluşçu Yaratıcılığın Psikolojisi” üzerine ilk bulgular	19
2.3.2. Sistematiğeleştirilen yenilikçilik ve herkesin teknik sorun çözebileceği fikrinin yayılması.....	21
2.3.3. Sistematik yenilikçilik için İdeal-Nihai Sonuç: kendi kendini geliştirebilen bir teori.....	23
3. ELEKTROMEKANİK KONTROL SİSTEMLERİ VE GELİŞTİRİLME SÜRECİNDE ORTAYA ÇIKAN İHTİYAÇLAR.....	33
3.1. Emniyet Kritik EKS’ler: Kontrol Tahrik Sistemleri ve Gimbal Sistemleri.....	33
3.2. Bir Vaka Örneği Olarak EKS Geliştirme Süreci Senaryosu	37
3.3. Emniyet Kritik EKS’lerin Geliştirilmesinde Geleneksel Süreç Yönetimi ve Tasarımda Çeviklik İhtiyacı	42
4. TRIZ TEKNİKLERİNİN EKE’YE UYGULANMASI	47

5. TRIZ ÇÖZÜM PRENSİPLERİNİN UYGULANMASI İLE ELDE EDİLEN ÇÖZÜM: MYEKP VE UYGULAMALARI	67
5.1. Elde Edilen Çözümün Uygulanması: MYEKP ve İşlevsel olarak Bölümlendirilmiş Modüllerin Özellikleri	70
5.1.1. Pozisyon geri besleme birimi.....	70
5.1.2. Akıllı birim	71
5.1.3. Arayüz birimi.....	72
5.1.4. Güç birimi	73
5.1.5. Sürücü Birimi.....	74
5.1.6. Akım geri besleme birimi	75
5.1.7. Ataletsel geri besleme birimi	76
5.1.8. Yatay konfigürasyon bağlantı parçası	77
5.1.9. Akıllı birim arayüz modülü	77
5.1.10. Akıllı çekirdek modülü.....	78
5.2. MYEKP Operasyonel Analizi ve Uygulamalar.....	79
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	93
EK-1. ARIZ Tabloları	100
EK-2. Çelişki Matrisi	104
ÖZGEÇMİŞ	112
DİZİN.....	113

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. ARIZ-85C bölümleri ve uygulama basamakları.....	26
Çizelge 2.2. Mini problemin formatı	27
Çizelge 3.1. Kullanım durumları ve açıklamaları	39
Çizelge 4.1. Eleman modeli	49
Çizelge 4.2. Problem modeli.....	50
Çizelge 4.3. Güncellenmiş eleman modeli	51
Çizelge 4.4. Güncellenmiş problem modeli.....	52
Çizelge 4.5. Mühendislik parametreleri ve tanımları.....	54
Çizelge 4.6. Çelişkiler matrisinin ilgili bölümü.....	57
Çizelge 4.7. Tespit edilen standart çözümler ve frekansları	58
Çizelge 5.1. Standart çözümler ve uygulamaları	68
Çizelge 5.2. Kullanılan mühendislik parametrelerinin ihtiyaç-durum karşılaştırılması	79
Çizelge 5.3. Enstrumantasyon işlemi için kurulması gereken konfigürasyonlar.....	84
Çizelge 6.1. Gerçekleştirilen ve gerçekleştirilmesi planlanan MYEKP birimleri	91

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Google Scholar tarafından taranan TRIZ yayınların yıllara göre dağılımı.....	10
Şekil 3.1. KTS şeması.....	35
Şekil 3.2. Gimbal şeması	36
Şekil 3.3. Örnek EKS şeması.....	38
Şekil 3.4. Şelale ve Çevik Yaklaşımın karşılaştırılması	44
Şekil 4.1. Teknik sistem için tanımlanmış çelişkiler	52
Şekil 5.1. GBBP modülünün ön ve arka görünümünü gösteren ECAD görseli	71
Şekil 5.2. AB modülünün ön ve arka görünümünü gösteren ECAD görseli	72
Şekil 5.3. AY modülünün ön ve arka görünümünü gösteren ECAD görseli.....	73
Şekil 5.4. GB modülünün ön ve arka görünümünü gösteren ECAD görseli	74
Şekil 5.5. SB modülünün ön ve arka görünümünü gösteren ECAD görseli.....	75
Şekil 5.6. GBBA modülünün ön ve arka görünümünü gösteren ECAD görseli.....	76
Şekil 5.7. Bağlantı parçasının ön ve arka görünümünü gösteren ECAD görseli.....	77
Şekil 5.8. ABBO modülünün ön ve arka görünümünü gösteren ECAD görseli.....	78

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Çekirdek modülünün ABBO ile beraber görünümü	78
Resim 5.2. Yazılım geliştirme çalışmaları için konfigürasyon.....	81
Resim 5.3. HTS ile akım verisi toplanması	81
Resim 5.4. HTS ile arttırımsal kodlayıcı verisi toplanması	82
Resim 5.5. HTS ile mutlak kodlayıcı verisi toplanması	82
Resim 5.6. HTS ile açık döngü DAM sürülmesi	83
Resim 5.7. Dikey istiflenmiş tam konfigürasyonun DAM denetiminde kullanımı	84
Resim 5.8. Düzlemsel tam konfigürasyonun DAM denetiminde kullanımı.....	85

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Kısaltmalar	Açıklamalar
ARGE	Araştırma-Geliştirme
AB	Akıllı Birim
ABBO	Akıllı Birim Taşıyıcı Birimi
AY	Arayüz Birimi
ARIZ	Yaratıcı Problem Çözme Algoritması
BDK	Baskı Devre Kartı
BDKK	Baskı Devre Kart Komitesi
COTS	Rafta Hazır Ürün (İng. Commercial-of-the-Shelf)
DAM	Doğru Akım Motoru
ECAD	Bilgisayar Destekli Elektronik Tasarım Yazılımı
EKE	Eyleyici Kontrol Elektronik
EKS	Elektromekanik Kontrol Sistemi
FDAM	Fırçasız Doğru Akım Motoru
FKE	FDAM Kontrol Elektronik
GB	Güç Birimi
GBB	Geri Besleme Birimi
GBBA	Akım Geri Besleme Birimi
GBBP	Pozisyon Geri Besleme Birimi
HTS	Harici Test Sistemi
MYEKP	Modüler ve yeniden uyumlandırılabilir eyleyici kontrol platformu
SOC	FPGA ve İşlemci Barındıran Hibrit Entegre (İng. System-on-Chip)
SB	Sürücü Birimi
TRIZ	Yaratıcı Problem Çözme Teorisi
US	Uyumluluk Sınıfı

1. GİRİŞ

Endüstriyel sayısallaşma ve akıllı üretim teknolojileri, mühendislik çözümlerinin üretim süreçlerindeki insan emeğine bağlı kısıtlarını git gide ortadan kaldırarak halen mühendislerin yoğun zihin işçiliği ile yürütülen mühendislik tasarımını adeta bir darboğaz haline getirmektedir. Bir sistem, bileşen ya da sürecin arzu edilen ihtiyaç ve gereksinimlere göre belirli kısıtlar içerisinde geliştirilme süreci olarak tanımlanan mühendislik tasarımı ise, temel bilimlerin, matematiğin ve mühendislik bilimlerinin eldeki kaynakları çözümlere dönüştürmek için kullanıldığı, iteratif, yaratıcı bir karar verme sürecidir [1]. Mühendislik tasarımını söz konusu darboğaza yerleştiren de tasarım sürecinin iteratif doğası ile yürütülen zihin işçiliğinin, üretilen mühendislik çözümlerinin zaman maliyetindeki payının üretim bantlarındaki akıllı makineler karşısında gittikçe artıyor olmasıdır. Bu sebeple günümüzde ve yakın gelecekte rekabetçi çözümlerin sadece üretim maliyetlerinin düşürülmesi ile değil, yaratıcı tasarımlar ve iterasyon çıktılarına hızla uyum sağlayan “çevik” tasarım süreçleri ile elde edileceği öngörülebilir. Bu öngörüden yola çıkan bu tez çalışması ise, yaratıcı bir sorun çözme yöntemini havacılık endüstrisinde önemli bir alt sistem olan elektromekanik kontrol sistemlerinin ana bileşenlerinden eyleyici kontrol elektroniklerine uygulayarak geliştirilen bir mühendislik çözümü ile tasarım sürecinde çevikliğin arttırılmasını hedeflemektedir.

Elektrik enerjisini kontrollü bir harekete dönüştürülmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiş mühendislik çözümleri olan elektromekanik kontrol sistemlerine (EKS) hemen hemen her endüstri dalında rastlamak mümkündür. Mekatronik sistemler olarak da anılan EKS’lerin uygulamaları fabrikalardaki üretim hatları ve makinelerinden, otomobillerdeki muhtelif alt-sistemlere, elektrikli ev gereçlerine, iklimlendirme sistemlerine kadar geniş bir endüstriyel yelpazede görülmektedir [2-5]. Havacılık, uzay ve savunma uygulamalarında da kendine yer bulan EKS’lerin, aşırı yüklerin söz konusu olduğu uygulamalarda kullanılan pnömatik ve hidrolik kontrol sistemlerinin bulunmadığı hemen hemen her kontrollü harekette yer aldığı söylenebilir [6-8]. Ağırlık ve hacim bütçesinin çok sınırlı olmasına karşın yüksek performans gereksinimi olan hava platformlarında, uzay araçlarında ve mühimmatlarda ise EKS’ler önemli alt-sistemler olup emniyet kritik öneme sahiptirler.

EKS'ler kontrollü bir hareketin doğası gereği genellikle tahrik elemanına bağlı mekanik aktarma organları, bu organları hareket ettiren eyleyici, eyleyici süren elektronik anahtarlama devresi, anahtarlama devresini denetleyen akıllı birim, akıllı birimin denetleyicisine girdi sağlayan algılayıcılar, haberleşme arayüzü ve bütün süreci denetleyen kontrol algoritması gibi yapısal ve işlevsel birimlerden oluşmaktadırlar. Bu birimler makine, elektronik, kontrol, bilgisayar, havacılık-uzay gibi mühendislik dallarının uzmanlıklarına ve işlevsel karmaşıklığa göre bir araya derlenerek kompleler haline getirilmektedirler. Söz konusu kompleler EKS'de fiziksel olarak mekanik komple, eyleyici komple ve elektronik kompleyi oluştururlar. Tasarımcılar eyleyici komple için modelleme ve analize yönelik yoğun işçilik harcamaktayken, mekanik ve elektronik komplelerindeki mühendislik sorunlarının üstesinden gelmeleri için genellikle yüksek iterasyon ile yürütülen yaratıcı zihin süreçlerini yoğun olarak kullanmaktadırlar. Bu sebeple EKS geliştirilmesi sürecinde, tasarım işçiliğinin yoğunlukla yaratıcı zihin süreçleri ile harcadığı elektronik komple tasarımının yöntem bakımından kritik bir konumda olduğu görülmektedir.

Her bir EKS'deki özgün sorunları çözmek için harcanan yaratıcı zihin işçiliğinin miktarı alt sistem gereksinimlerinin ne kadar net tanımlandığı ile yakından ilgilidir. Nitekim çözümlerin somutlaştırılması ile elde edilen çıktılar, iç ve dış parametrelerde ani değişim ve gelişimleri tetikleyebilmektedir. Bu değişim ve gelişmeler ise yeni özgün sorunları ortaya çıkarmasıyla elektronik komplelerde bu tetiklenmeler ani gereksinim değişimleri olarak ortaya çıkmaktadır. Bu gibi durumlarda zaten otomatik dizgi makinelerinde hazır devre elemanları ile dizilen elektronik donanımların iterasyonu uygun değişikliklerle tamamlayabilmesi için gereken ek maliyetin yönetimi tamamen tasarım mühendisinin zihin işçiliğine kalmaktadır. Tasarım mühendisinin işçiliği ise gereksinimleri analiz ederek, sistemler arasında performans/işlev çakışmalarına yol açmadan ortaya çıkan bu özgün problemi çözüp tasarımı uyumlandırmayı kapsayan karmaşık bir iterasyon ortaya çıkarmaktadır. Bu süreç de savunma sistemleri ve gömülü sistemler için uygun olduğu dile getirilen “Şelale tipi” yaklaşımla yönetilmektedir [9]. Bu yaklaşım adeta yavaş ve emin adımlarla bu iterasyonların tamamlanmasını hedeflemekte, bahsedilen ani ve zincirleme gereksinim değişiklikleri süreci oldukça olumsuz etkilemektedir. Bu sürecin “çevikleştirilmesi” durumunda ani değişim ve gelişimlere karşı daha gürbüz bir geliştirme süreci yaklaşımının yakalanmasının ise mümkün olduğu söylenebilir. Böylelikle yaratıcı zihin işçiliğinin daha etkin kullanılması ile rekabetçi alt sistemlerin geliştirilmesi bir fırsat

haline getirilebilecektir. Rekabet üstünlüğü yaratacak çözümleri ortaya çıkarabilecek yenilikçi alt sistem teknolojilerine ulaşma hedefi konmuş tasarım mühendislerine ise çözüme kavuşturmaları gereken problemlere yaklaşımda yaratıcı tasarım yöntemlerinin kullanımına dair hâkimiyet kazandırılması gerekmektedir.

“Üretim ortamlarının değişkenliği ve hızlı gelişimi” göz önünde bulundurulduğunda, ARGE işletmelerinin rekabetçi kalarak başarılı olabilmelerinin koşulu olarak yenilikçi yaklaşım ve yaratıcılığa verilen öneme ek olarak yaratıcı problem çözme araçlarının kullanımının öne sürüldüğünü belirten Şener, 2006 tarihli tez çalışmasında problem çözümü yöntemlerini derleyerek karşılaştırmıştır [10]. Yaratıcılığın sadece zihinsel tarafına odaklanan psikolojik yaklaşımlardan yola çıkan yöntemlerin endüstriyel uygulamalarda zaman ve işçilik maliyetleri konusunda başarıyı yakalayamadıklarını değerlendiren Şener, “sistemik ve yapısal problem çözme yöntemlerine” duyulan ihtiyaca Yaratıcı Problem Çözme Teorisinin (TRIZ) cevap verebileceğini belirtmektedir. Bu bağlamda bu çalışma kapsamında kullanılması arzu edilen yaratıcı bir sorun çözme yöntemi olarak TRIZ uygun bir aday olarak öne çıkmaktadır.

TRIZ, “Yaratıcı Problem Çözme Teorisi” olarak Türkçeleştirilebilecek Rusça *Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch* kelimelerinin baş harflerinden oluşan bir kısaltma olup [11:4], Genrich Altshuller öncülüğünde SSCB’de 1956 yılında ortaya atılmış ve SSCB dağılana kadar dünyanın geri kalanından adeta izole bir şekilde geliştirilmeye devam edilmiştir [12:71]. Özgünlüğü ve yenilikçiliği uygulama ile kanıtlanmış on binlerce patent başvurusunun analiz edilmesi sonucunda elde edilen bulgulara dayanarak, bütün mühendislik sistemlerinin aynı sistemik değişim kanunlarını takip ederek evrildiği ve yaratıcı buluşların hali hazırda var olan bu evrim eğilimlerinin bir şekilde takip edilmesi ile ortaya çıkarıldığı fikrini savunmaktadır. Söz konusu bulgulardan yola çıkarak bu sistemik değişim kanunlarının ve eğilimlerinin tanınması, tanımlanması ve uygulanması ile ilgili yöntemleri barındıran TRIZ’in kullanılması ile herhangi birisinin problemlere yenilikçi çözümler geliştirmesi amaçlanmaktadır. Temel olarak ulaştığı bulgular şu şekilde özetlenebilir [11:6]:

1. Problemler ve çözümleri 5 kategoride sınıflandırılabilir ve “Yaratıcılık Seviyesi” (ya da “zorluk derecesi”) 1’den 5’e doğru artmaktadır.

2. Yüksek seviye çözümler (2 ve üstü), yaratıcı düşünceyi zorunlu kılan bir çelişkiyi barındıran “yaratıcı problemin” çözülmesini gerektirmektedir.
3. Yaratıcı problemlerin çözülmesinde, az sayıdaki aynı yaratıcı prensipler kullanılmıştır.
4. Problemler ve çözümler farklı endüstri ve bilim alanlarında tekrarlanmaktadır. Bir alandaki problemler genelde başka bir alanda hali hazırda çözülmüş durumdadır.
5. Buluşlar, genelde problemin alanı dışındaki alanlardaki bilimsel etkileri kullanmışlardır.
6. Teknik sistemlerin zamanla nasıl geliştiğini gösteren “Teknik evrim eğilimleri”, sistemlerin evrimsel gelişimini tekrarlanabilir ve tahmin edilebilir kılmaktadır.

Bu bulgulardan yola çıkarak, TRIZ’ın temel kazanımının bireysel rastgele katkılar ve deneme yanılma ile ilerlemenin önüne geçilerek, sistematik olarak geliştirilen düşünce ile zor teknik sorunları yenilikçi çözümlere kavuşturabilmek olduğu söylenebilir [13]. Bu çıkarımın araştırmalar tarafından uygulamaya ne kadar dönüştürülebildiğini tespit etmek amacıyla bir araştırma yapıldığı zaman teknik sorunların çözümü için TRIZ’i kullanmış pek çok mühendislik çalışması görülebilmekte [14-30], sosyal bilimlerde dahi TRIZ’in uygulamaları görülebilmektedir [31-33]. Söz konusu mühendislik uygulamaları imalat süreçleri, elektrik prizleri, otomobil kapı mekanizmaları, endüstriyel buhar sistemleri, yakıt hücreleri, tıbbi bakım yatakları, nükleer yakıt inceleme sistemleri, mekanik hata algılama sistemleri, iş makineleri, elektrikli otomobiller için motor soğutma sistemleri, elektronik kart test cihazları, kimyasallar, ev eşyaları gibi farklı sanayi kollarında ve çeşitli mühendislik disiplinlerinde görülmektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılması için uygun bir aday olarak öne çıkmış olan TRIZ’i uygulama varlığıyla destekleyen bu çalışmalara rağmen elektrik-elektronik mühendisliği uygulamalarının azlığı da dikkat çekmektedir.

Uygulama ve ürün geliştirme çalışmalarını konu alan TRIZ çalışmaları araştırıldığında muhtelif tipteki mühendislik uygulamaları kolaylıkla bulunabilmesine rağmen, özellikle makine ve endüstri mühendisliği uygulamalarına kıyasla elektrik-elektronik mühendisliği uygulamaları bu araştırma uzayında ender rastlanır konumdadır. Yapılan tarama sonucu elektrik mühendisliği alanında enerji ile ilgili elektrik enerjisi depolama sistemlerinin [15] ve güneş enerjisi sistemlerinin [16] geliştirilmesi uygulamaları görülmekteyken, elektronik mühendisliği alanında ise elektromanyetik uyumluluk sorunlarının çözülmesi ile ilgili [17] ve test kartı geliştirilmesi ile ilgili [28] birer adet çalışma bulunabilmiştir. Elektronik

mühendisliğinde TRIZ'in kullanımı ile ilgili yürütülmüş kavramsal çalışmalar da bulunmakla beraber kıyaslandığında yine ender denilebilecek kadar sayıları azdır [34-38].

TRIZ'in diğer disiplinlere kıyasla elektrik-elektronik mühendisliği uygulamalarının yoğunluğunda gözlemlenen söz konusu dengesizliğin sebebinin tespit edilebilmesi için TRIZ literatürüne yönelik tarama çalışmaları araştırıldığında ise, TRIZ'in bilinirliği ve uygulanabilirliği ile birtakım sorunların dile getirildiği gözlemlenmiştir [39-43]. Literatürde yer alan çalışmalar ve bu literatüre yönelik analitik çalışmalar göstermektedir ki, TRIZ için öngörülen yüksek potansiyelin gerçekleşmesinin önünde hem kültürel hem metodolojik engeller bulunmaktadır [39, 40, 12:73, 41]. Öngörülen potansiyele rağmen TRIZ'in popülerliği düşmekte olan bir ivme ile artmakta, sıklıkla kullanılan TRIZ araçları ise sınırlı bir uygulama alanına sıkışıp kalmaktadır [42]. Bu engellerin aşılması için teknik sorunlarla muhatap olan ve bu sorunları analiz ederek çözüme kavuşturma imkân ve kabiliyetine sahip profesyoneller tarafından TRIZ metodolojisinin tam ve açık şekilde uygulanmasının gösterimine ihtiyaç bulunmaktadır [40]. Klasik TRIZ'in gelişiminin olgunlaşarak durağan bir döneme girmesi ise mevcut sıkıntıların giderilmesi ile TRIZ'in yeni bir atılım yapabileceğine yorulmaktadır [42]. TRIZ'in Türk literatüründeki durumu araştırıldığında bu bulguları destekleyici gözlemlere ek olarak, yine elektrik-elektronik konulu TRIZ çalışmalarının yokluğu göze çarpmaktadır [43]. Tüm bu bulgular göstermektedir ki, TRIZ'in yeni uygulama alanlarında TRIZ'i bütünsel olarak ele alan yaklaşımların desteklenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. TRIZ araçlarının yakalamakta geç kaldığından değinilmeyen ve günümüz literatüründeki uygulama azlığı dikkat çeken Elektrik-Elektronik Mühendisliği uygulamaları TRIZ literatürüne bu yönde katkıda bulunabilecek potansiyeli göstermektedir.

Elektrik-elektronik mühendisliği teknolojilerinde yakın gelecek ve günümüz için kritikliği aşikâr olan yaratıcı tasarımlar ve yüksek uyumluluğa sahip çevik tasarım süreçlerinin uygulamalarını araştırmak için hem EKS'lerdeki donanımların geliştirme süreçlerinin doğasının hem de TRIZ'in bu tip uygulamalar için öngörülmüş ve tam anlamıyla gerçekleşmemiş yüksek potansiyelinin ideal bir ortam yarattığı anlaşılmaktadır. Bu ideal araştırma ortamından faydalanmış olan bu çalışma da altı bölümde, EKS ana bileşenlerinden olan EKE'lerin enstrumantasyon amacıyla kullanılmasında tespit edilen çelişkilerin TRIZ ile çözülmesiyle geliştirilen bir mühendislik çözümü ile tasarım sürecinde çeviklik arttırılmasını araştırmıştır. Bölüm 2'de TRIZ'in EKS'lere

uygulanabilirliğini ele almak amacıyla günümüze nasıl ulaştığı ve günümüzde araştırmacılar tarafından nasıl ele alındığı araştırılmış, araştırma sonucu literatürde görülen ihtiyaç üzerine TRIZ'in teorik altyapısını oluşturan üç orijinal çalışmadaki ana fikirler ve kullanılan araçlar özetlenmiştir. Bölüm 3'te EKS'ler tanıtılmış ve geliştirilme sürecinde harcanan yaratıcı zihin işçiliğinin kullanılmasına yönelik ortaya çıkan ihtiyaçlar bir geliştirme senaryosu üzerinden irdelenmiş, "çevik" yaklaşımın, belirsiz gereksinimler ve bulanık hedefler söz konusu olduğunda EKS'lerin geliştirilmesinde kullanılan "şelale" modeline kıyasla ne gibi avantajları olabileceği tartışılmıştır. Bölüm 4'te TRIZ araçlarının sistematik olarak uygulanması için geliştirilmiş derleyici nitelikteki bir TRIZ aracı olan ve ardışık adımlardan meydana getirilmiş bir algoritma olan ARIZ'in, elektronik donanım tasarımına uyumlandırılarak EKE'ye uygulanması ve ulaşılan kavramsal çözüm anlatılmaktadır. Bölüm 5'te, ulaşılan bu çözüm prensipler ışığında yapılması gereken değişikliklerin uygulanması ile elde edilen modüler ve yeniden uyumlandırılabilir eyleyici kontrol platformunun özellikleri anlatılmakta ve gereksinimlere ne kadar cevap laboratuvar uygulamaları ile incelenmektedir. Bu çalışmanın TRIZ'in gelecekteki elektronik tasarım uygulamaları için bir örnek teşkil edeceği, ulaşılan mühendislik çözümü ile EKS geliştirme süreçlerinin çevikleşmesine yardımcı olacağı değerlendirilmektedir.

2. TRIZ'İN ORTAYA ÇIKIŞI, GÜNÜMÜZDEKİ YERİ VE TEMEL BULGULARI

Yenilikçiliğin bireysel yeteneğe ve tesadüflere bağlı olduğu düşüncesine karşı çıkan bir mucidin girişimleri ile ortaya çıkan Yaratıcı Problem Çözme Teorisi, SSCB'nin dağılmasına kadar Altshuller'in gözetiminde geliştirilmeye devam edilmiştir. Mucidinin hayatını kaybetmesinin ardından ise fikri varisleri olan "TRIZ ustaları" ile günümüzde de gelişimini pek çok varyasyon ve uyumlandırma girişimleri ile devam ettiren TRIZ, uygulamadaki başarısı ile popülerliğini arttırırken pek çok yönden de tartışılmaya devam edilmektedir. Bu bölümde detayları ile aktarılan söz konusu tartışmaların, Altshuller'in ortaya koyduğu çalışmalardan çok bu çalışmaların ele alınışına yönelik olduğunu söylemek mümkündür. Bu bölümde derlenen tüm bu bilgiler 3 kısımda incelenecektir. İlk olarak TRIZ'in mucidi Genrich Altshuller'in TRIZ'in ortaya çıkışı ve günümüze ulaşmasındaki etkisi aktarılacaktır. İkinci kısımda günümüzde TRIZ'in ele alınışı, elektronik mühendisliği disiplinin tanınırlığı tartışılacaktır. Üçüncü kısımda Altshuller'in ulaştığı temel bulgular ve yenilikçilik için ortaya koyduğu sistematik üç ana orijinal çalışması temel alınarak kısaca özetlenecektir.

2.1. TRIZ'in Ortaya Çıkışı ve Günümüze Ulaşması

Ancak 90'lı yıllarda uluslararası bilim çevrelerine kazandırılabilmiş olan TRIZ'in ortaya çıkmasını ve olgunlaşmasını sağlayan dönüm noktalarının ya Altshuller tarafından ya da Altshuller'in gözetiminde gerçekleştiğini söylemek mümkündür. Genrich Altshuller'e en yakın isimlerden olan Leonid Lerner tarafından kaleme alınan biyografisinde [44] bu dönüm noktaları gözlemlenebilmektedir. Lerner'in aktarımına göre Altshuller'in çocukluk yıllarından itibaren buluşçuluğa ilgi duyduğu ve bu ilgisiyle birleşen yardım etme arzusunun çalkantılı bir yaşamı ortaya çıkararak TRIZ'in doğmasına vesile olduğu anlaşılmaktadır.

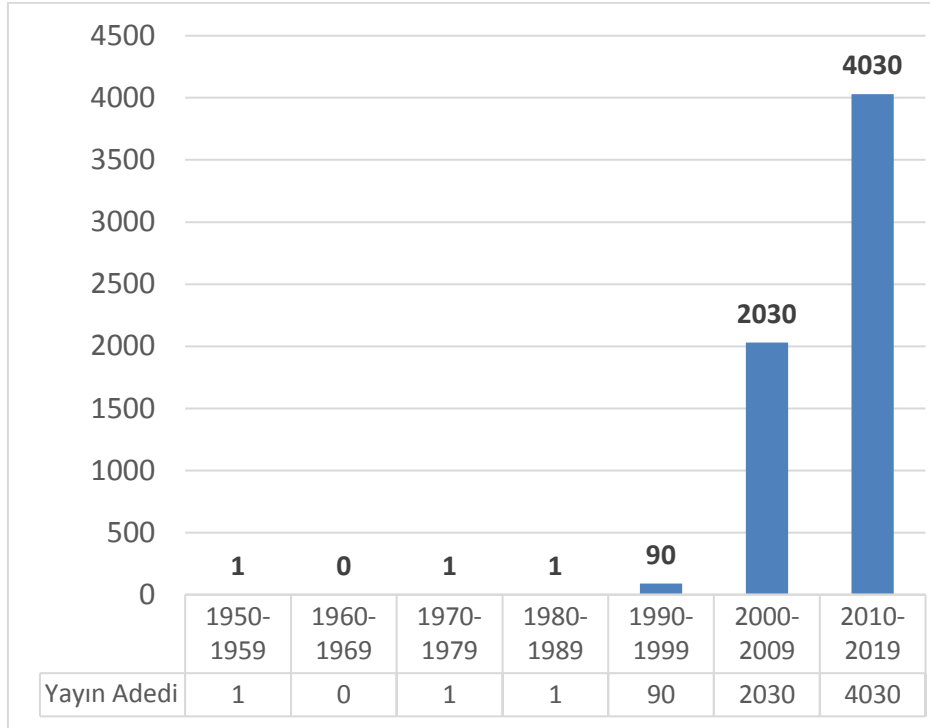
Lerner, 1926 Taşkent doğumlu olan Altshuller'in sürgün yılları haricinde kalan hayatının büyük kısmını da Bakü'de geçirdiğini ve daha dokuzuncu sınıfta iken bir sualtı dalış aparatı fikri ile ilk ulusal patentini aldığını belirtmektedir. İcatlarında Hazar Denizi'nden ilham aldığı gözlemlenebilen Altshuller'in olgun sayılabilecek ilk patentini ise 1946 yılında yine denizcilik konusunda, immobilize edilmiş bir denizaltıdan dalış ekipmanı

olmadan kaçışı sağlayan bir metot ile aldığını aktarmaktadır. Bu patentin anında askeri sır olarak nitelendirildiğini ve Altshuller'e Sovyet ordusunun Hazar Denizi donanmasında patent bölümünde iş teklif edilmesini sağladığını belirtmektedir. Burada pek çok buluşa imza atan Altshuller'in, ofisine gelerek kendisinden çözümsüz kalan problemlerini nasıl çözebilecekleri konusunda destek isteyen insanlara da yardım etmek için çözüm aramaya başladığını; bu arayışın ise buluşçuluğun doğası üzerine bilimsel çalışmaların son derece yetersiz olduğunu fark etmesi ile sonuçlandığını aktarmaktadır. Buluşçuluğu rastgele olaylara, kazalara, ruh haline, kan grubu gibi etkenlere bağlayan bilimsel çalışmaları ile ikna olmayan Altshuller'in, buluşçuluğun bir metodolojisi olması gerektiğine inanmakla beraber, eğer bu tip bir metodoloji henüz ortaya konmamışsa bile kendisinin geliştirmesi gerektiğine karar verdiğini belirtmiştir. Zaten hali hazırda, buluşçuluğun aslında teknik bir çelişkinin bir takım temel prensipler ile ortadan kaldırılması olduğunu; buluşun gerçekleşmesinin ise buluşçunun bu prensiplere ait bilgilere sahip olması durumunda kesin olduğunu keşfettiğini aktarmıştır. Düşüncelerine destek almak için SSCB lideri Stalin'e yazdığı mektup sebebiyle 1950 yılında tutuklanarak 25 yıl hapis cezasına çarptırılmasının ardından, Altshuller'in hapishanelerde ve çalışma kamplarında diğer hükümlülerle ve düşünce suçlularıyla beraber hayatta kalma mücadelesi verdiği yıllarda karşılaştığı zorlukların teorisine uygulama şansı vererek olgunlaştırmasını sağladığını aktarmaktadır. Stalin'in ölümünden bir buçuk yıl sonra 1955'te salıverilmesinin ardından ise Bakü'ye geri dönerek çalışmalarına devam ettiğini, 1956 yılında Shapiro ile beraber yayınladıkları "Buluşçu Yaratıcılığın Psikolojisi" isimli makalelerinde, bilim insanlarının buluşların tesadüfi anlık aydınlanmalar ile yaşandığı inancını yıkmaya çalıştıklarını aktarmaktadır. Altshuller'in araştırmalarını patentler üzerine yoğunlaştırdıktan sonra, buluşçuluk için çelişkiyi ortaya çıkaran bir problem analizi yöntemi önerdiğini anlatmaktadır: 200.000 kadar patenti analiz ettikten sonra bir takım temel prensiplerin uygulanmasıyla tamamen ve kolaylıkla çözülebilecek toplamda 1500 kadar teknik çelişkinin var olduğu sonucuna varmışlardır. Böylelikle TRIZ araçlarının özünü oluşturan fikir ortaya çıkmıştır.

Lerner, 1959 yılından itibaren TRIZ'in tanınması için sıkı çalışmalarda bulunan Altshuller'in, "buluşçuluk nasıl öğrenilir" isimli ilk kitabını 1961 yılında yayınladığını ve TRIZ'in ilk 20 buluşçu prensibini düşük bir bedel karşılığında halkın erişimine açtığını anlatmaktadır. Bir yandan da Altov mahlası ile buluşçu düşüncelerini içeren bilimkurgu öyküleri de yazdığından bahsetmektedir. Altshuller'in Sovyetlerin en yüksek patent kurumuna düşüncelerini kanıtlamak için talep ettiği bir fırsat için yaptığı ısrarları ile geçen

9 yıldan sonra 1968 yılında ise TRIZ konulu ilk seminerin düzenlediğini aktarmaktadır. Seminere katılan TRIZ öğrencileri sayesinde TRIZ'in bilinirliği farklı şehirlere de sıçradığını ve talep görmeye başladığını belirtmektedir. 1969 yılında “Yenilik Algoritması” kitabı ile halen günümüzde de kullanılmakta olan TRIZ'in özünü oluşturan temel prensiplerin tamamını ve karmaşık yaratıcı problemlerin çözümü için sistematik yaklaşımını bir algoritma olarak sunduğunu belirtir. Altshuller'in 1998 yılında hayatını kaybetmesine kadar 1989 yılında kurulan “TRIZ Derneği” bünyesinde başkan olarak çalışmalarına devam ettiğini aktarmaktadır. Günümüzde de söz konusu TRIZ Derneği MATRIZ ismi ile [45] varlığını devam ettirmekte, TRIZ konferansları ve eğitimleri düzenlemektedir.

Literatürde TRIZ'in geçmişi ile ilgili olarak sıklıkla dile getirilen TRIZ'in temellerinin 1940'lara dayandığı ve olgunlaşması 1960'ların sonlarını bulduğu ifadesinin de Lerner'in kaleme aldığı biyografisi ile paralellikler taşıdığı gözlemlenmektedir. Fakat milat olarak kapalı bir çevrede geliştirildiği sürenin mi yoksa bilim dünyasıyla tanıştığı tarihin mi temel alınacağı konusu bir çelişki yaratmaktadır. Nitekim Altshuller'in Rusya'da en popüler kitabı olarak anılan [46] ve Türkçe olarak da ilk defa 2007 yılında basılan “Ve Birden Mucit Ortaya Çıkıverdi / *And Suddenly the Inventor Appeared*” kitabının [47] İngilizce basımı ilk defa 1990 yılında yayınlandığı görülmektedir. Benzer bir şekilde TRIZ yaklaşımının uygulamaya yönelik kullanımında ana basamaklardan olan “Yenilik Algoritması/*The Innovation Algorithm*” kitabının da, 1969 yılında ortaya çıkarıldığı ve 1974'de büyük ölçüde son haline ulaştırılarak orijinal dilinde yeniden basıldığı belirtilmiş, 1997 yılında İngilizceye 2013 yılında Türkçeye çevrilerek yayınlanmıştır. Altshuller'in TRIZ bulgularının tartışıldığı yayın istatistikleri de 1990 yılından itibaren gözlemlenen kritik artışı ve takip eden yükselişi açıklayıcı niteliktedir (Şekil 2.1). Bu sebeple TRIZ'in, SSCB'nin dağılmasına kadar dünya literatüründeki yeri ve gelişiminin milatlarının tartışmalı olduğu, Altshuller'in temellerini 40'lı yıllarda attığı ve 70'li yıllarda olgunlaştırdığı TRIZ araçlarına dayanan günümüzdeki çalışmaların çoğunun kökeninin ancak 1990 yılına kadar gittiği sonucuna varılabilir.



Şekil 2.1 Google Scholar tarafından taranan TRIZ yayınların yıllara göre dağılımı

2.2. Günümüzde TRIZ ve Elektronik Mühendisliğinde Kullanımı

TRIZ'in etkisinin Avrupa ve ABD'de görülmeye başlamasının en fazla 1990 yılına kadar gittiği gözlemlenmektedir. Özellikle son yıllarda hem literatürde hem de eğitim düzenleyen dernek ve kurumlarda TRIZ'in modernleştirilmesine yönelik pek çok çalışma göze çarpmaktadır. Bu çalışmalar, uyumlandırmaya yönelik değişiklikler, endüstri mühendisliği araçları ile harmanlama, sadeleştirme, geliştirme gibi çok çeşitli yaklaşımlarda vücut bulmaktadır. Her ne kadar bu çalışmalar TRIZ'in orijinal haline yöneltilen eleştirilerden yola çıksa da, literatürde Altshuller'in orijinal bulgularına ek olarak genel kabul görmüş yeni bir sistematik gözlemlenmemektedir. Söz konusu eleştiriler ise TRIZ'in karmaşık doğası gereği anlaşılmasının zorluğundan, orijinal metinlerin Rusçadan diğer dillere çevrilirken diyalektiğe dayalı temel mesajlarını kaybetmesine kadar oldukça geniş bir aralıkta gözlemlenmektedir. Öte yandan, literatürdeki çalışmalara yönelik olarak da, TRIZ'in popülerliğinin artmakta olduğunu savunan araştırmacıların literatürde metodolojinin eksik hatta yanlış uygulamasının oldukça fazla olduğu konusunda hemfikir oldukları gözlemlenmektedir. TRIZ'in popülerliğini yitirmekte olduğunu savunan araştırmacılar ise, TRIZ'in güncel ihtiyaçlara ve uygun alanlara uygulanması ile yeni bir atılım yapabileceğini belirtmektedirler.

Günümüzde TRIZ

Lin vd. çalışmalarında, araştırma projeleri de dahil olmak üzere çeşitli alanlarda elde edilen sonuçlar ile derneklerin, eğitim merkezlerinin, danışmanlık şirketlerinin, yazılım sağlayıcılarının, TRIZ'in bilgi birikimini yaklaşık 70 yıldır zenginleştirmekte olduğunu belirtmişlerdir. Bu sebeple TRIZ'in günümüzdeki yerini gözden geçirmek ve gelecekteki TRIZ araştırmalarını ve uygulamalarını yönlendirmek amacıyla 2018 yılında bir tarama çalışmasını kaleme almışlardır. Veri madenciliği teknikleri kullanarak, TRIZ literatürüne yapılan bu katkıların hem teorik bakış açısından, hem yöntemsel kaygılardan hem de TRIZ araçlarının başka araçlarla harmanlama denemelerinden hareketle yapıldığını gözlemlemişlerdir. Her yıl artan şekilde TRIZ'in ilgi görmeye devam ettiğini gözlemleyen yazarlar, odakta mühendislik uygulamalarının olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacıların en çok çelişki analizi ve 40 buluşçu prensibi kullandığını tespit eden yazarlar, ideallik (*ideality*), budama (*trimming*) ve ideal nihai sonuç (*ideal final results / IFR*) gibi çekirdek TRIZ kavramları üzerine olan çalışmaların son derece az olduğunu belirtmektedirler. Ayrıca, TRIZ'in çelişki ve çatışmalar için bir sorun çözme süreci olduğunu belirten yazarlar, TRIZ süreçlerini tam olarak uygulayan araştırmacıların azlığını gözlemlemişlerdir. TRIZ çalışmalarının çoğunun göz önündeki çelişkiler üzerinde odaklandıklarını ve daha derin ve sistematik çelişkilerin fark edilmeden veya dokunulmadan gerçekleştirildiğini belirtmektedirler. TRIZ'in potansiyel değerinin tek bir metodun aşırı kullanılması ile anlaşılamayacağını altını çizmektedirler [41].

TRIZ'in günümüzdeki durumunu netleştirmek, dünyaca ne kadar kabul edildiğini tespit etmek ve “hak ettiği yeri neden kazanamadığını” irdelemek amacıyla Abramov ve Sobolev tarafından gerçekleştirilen 2019 tarihli çalışmada, literatürdeki yayınların içerikleri ve istatistiklerini kullanarak TRIZ'in yayılımı, kullanımı ve bilinirliğini araştırılmıştır. Yazarların bulguları şu şekilde sıralanabilir:

Bulgu 1: TRIZ'in yayılımı yavaşlamaktadır. Her ne kadar dünya üzerinde dengeli bir dağılım olmasa da 2017 yılı itibarıyla 24 bin kadar TRIZ uzmanı bulunduğunu, uzman sayısındaki artışın 2014 yılından itibaren azalmaya başladığı belirtilmektedir. Buradan yola çıkarak, yazarlar, TRIZ'in mevcut klasik hali göz önünde bulundurarak TRIZ'in artık ya olgunluk ya da durgunluk dönemine girdiğini değerlendirmektedirler. Fakat, 2007 yılından başlayan istatistiklere göz atıldığında 2011 yılından günümüze uzman sayısının neredeyse 5'e katlanmasına dayanarak, yazarların değerlendirdiği söz konusu “durgunluk dönemine”

rağmen TRIZ'in halen ciddi bir büyüme gösterdiği sonucu çıkarılabilir. Dengeli olmayan uzman dağılımı ise Güney Kore hükümetinin aktif olarak TRIZ'i desteklemesinin de etkisiyle bu uzmanların %65'inin Güney Kore'den çıktığı, %35'inin ise Çin, Almanya ve Rusya'da bulunduğu açıklanmaktadır.

Bulgu 2: Yazarların ulaştığı ikinci bulgu ise, araştırmacıların yenilikçiliğe olan ilgisinin kararlı olmasına rağmen TRIZ'e olan ilgisinin azaldığı yönündedir. Yazarların alternatif olarak değerlendirdiği Yalın Altı Sigma (*Lean Six Sigma*) gibi yöntemler ile ilgili internet sitelerinin sayısını temel alarak ulaştıkları bu bulgu yine 2014 tarihinden itibaren bir kırılmayı gündeme getirmektedir.

Bulgu 3: Ulaşılan üçüncü bulgu ise, yine içerik taramalarına göre alternatif yenilikçilik metotlarına göre dünyanın TRIZ farkındalığının az olduğunun gözlemlenmesidir.

Bulgu 4: Yazarlar ayrıca, TRIZ'in dünyaca yeterince bilinmemesine ve var olan ilginin de azalmasına rağmen endüstriyel uygulama açısından tanınan bir metot olsa da bu alanın dar olduğunu belirtmektedirler. Nitekim ürün ve süreç tasarımı da kullanımı ile tanındığı ve bu alanda da sık kullanılan klasik basit araçlar olduğunu belirtmektedirler.

Bulgu 5: Beşinci bulgu ise, endüstride TRIZ'in pratik olarak uygulanmasının sınırlı olduğu yönündedir. Literatürdeki uygulama çalışmalarının sayısının 2011'den itibaren sert bir biçimde düşmekte olduğunu belirten yazarlar, yarım milyona yakın çalışanı bulunan Siemens'te düzenlenen 5 günlük eğitimlerden geçen mühendis sayısının 2011'den beri 60 kadar olduğunu ve bu düşük oranın da endüstrinin TRIZ'e olan ilgisinin düşmesine bağlanabileceğini belirtmişlerdir.

Yazarlar, TRIZ'in araçlarından olan S-eğrisi analizine de dayanarak yakın gelecekte TRIZ'in gelişmiş ileri bir yenilikçilik aracına dönüşeceğinin beklenebileceğini, klasik TRIZ'in geliştirilmiş soyut çözümlerin özellikle özel ihtiyaçlara yönelik uygulama sorunlarının giderildiği piyasa odaklı yaklaşımlarla yeni ve büyük bir atılım yapılabileceği sonucuna varmışlardır [42].

İlavbare vd. TRIZ tekniklerini uygulanabilirliğini tartıştıkları 2013 tarihli çalışmalarında, teknikleri uygulayanlar ile sonuçlardaki başarıyı gözetmeksizin birebir anket yaparak uygulamadaki faydaları ve zorlukları araştırmışlardır [40]. Yazarlar, günümüzde TRIZ'in 35'den fazla ülkeye yayıldığını ve artık hem üniversitelerde ders olarak okutulduğunu hem de pek çok global şirket tarafından yeni ürün geliştirmede kullanıldığını belirtmişlerdir. Bu popülerliğin artmaya devam etmesine rağmen, uygulamada karşılaşılan zorlukların TRIZ araştırmacıları tarafından genellikle göz ardı edildiğini vurgulamaktadırlar. Buradan da

yola çıkarak ilk elden tecrübeye başvurarak uygulama zorlukları ve bunların TRIZ literatürüne yönelik iyileştirme önerilerini derlemişlerdir. Yazarların elde ettikleri bulgulara göre hem profesyoneller hem de meraklılar tarafından TRIZ metodolojisinin etkinliği tartışmasız kabul edilmekle beraber, TRIZ'in bütün olarak anlaşılmasının zor olduğunu ve ciddi bir zaman ve kaynak yatırımı gerektiği belirtilmektedir. Hangi TRIZ aracının nerede ve ne zaman kullanılması gerektiği ile ilgili belirsizlikler bulunmakta; bu sorunun çözümü için Altshuller tarafından geliştirilen ARIZ'in de bu belirsizlikleri tam olarak ortadan kaldırmadığına değinilmektedir. Ayrıca literatürdeki çalışmalarda yanlış ve eksik uygulamaların azımsanmayacak derecede bulunduğu bildirilmiştir. Altshuller ve ekibinin orijinal çalışmalarının güvenilir bulunmasına rağmen, Rusça olan bu çalışmaların çeviri sırasında Rus diyalektiğinden sıyrılarak orijinalliğini kaybettiğine değinilmektedir. Metodolojinin kolay anlaşılmasını sağlamak için geliştirilmesine ihtiyaç duyulan ortak bir dil için kültürel bir bariyer teşkil eden bu soruna, TRIZ teorisyenlerinin basitleştirme ve sadeleştirme yaklaşımlarını olumlu karşılamamasının da eklendiği ifade edilmektedir. Literatürde paylaşılan başarı hikayelerinin detaylarının rakiplere avantaj sağlamaması için, başarısızlık hikayelerinin de itibarın olumsuz yönde etkilememesi için paylaşılmadığından, literatürde uygulama konusunda eksiklik olduğu belirtilmiştir. Sosyal bilimlerdeki uygulamaların da TRIZ'in standartlaştırılmasında bu aşamada olumsuz yönde etkilediği görüşü bildirilmiştir. Katılımcıların bütün bu sorunlara karşı önerileri ise üç ana başlık altında derlenmektedir: TRIZ'in sadeleştirilmesi ve öğrenim kolaylığının artırılması için yöntem geliştirilmeli, uygulama konusunda iş birliği ve iletişim arttırılmalı, son olarak da bir TRIZ standardı geliştirilmelidir. Bu bulgulara dayanarak, yazarlar TRIZ'in "gizemli" doğasının anlaşılmasını güç kılmasına ve standartlaştırılamamış olmasından ötürü uygulama sorunları bulunmasına rağmen oldukça etkili bir metodoloji olduğu sonucuna varmışlardır.

İlavbare vd. TRIZ'in Rus diyalektiğinden sıyrılarak orijinalliğini kaybettiğine tespitlerine benzer olarak, Pahl da yaygınlaştırma girişimlerine rağmen halen TRIZ'in özellikle Avrupa'da "yeni nesil mühendis ve mucitlere ilham veremediğini" değerlendirmiştir [12:73]. Gerekçe olarak da, diyalektiğin daha erken yaşlarda özümsemiği Doğu anlayışı ile ortaya çıkmış olan TRIZ'in, Batı dünyasında sahiplenilmesindeki temel sorunun "çelişki" kavramının algılanmasında Batı düşünüş tarzının zorlanmasını gösterilmiştir.

2016 tarihli çalışmasında Chechurin, TRIZ'in nasıl kullanıldığını uygulandığını ve geliştirildiğini analiz etmek amacıyla taranan kaynaklarda yayınlanmış TRIZ çalışmalarını araştırmıştır [39]. 2000'li yıllara kadar TRIZ'in dış dünyaya kapalı bir şekilde geliştirilmiş olduğunu ve bağımsız hakem görüşleri yerine sadece Altshuller tarafından onaylanan görüşlerle geliştirildiğini belirten Chechurin, alışıldık bilimsel süreçlere dahil olmasa da bulguların uygulamada başarılı olduğunu ve günümüzde de araştırmaların konusu halinde geldiğini belirtmektedir. Bu sebeple analizlerini taranan yayınlar üzerine kurguladığını ifade eden Yazar, temel bulgularını şu şekilde sıralamaktadır: TRIZ'in modern rakiplerine kıyasla yeni fikirlerin oluşmasına diğer yaklaşımlara özgün bir şekilde entegre olarak etkili bir şekilde yardımcı olabilmektedir. TRIZ'in ana uygulama alanının ürün ve süreç tasarımı olmakla beraber, analitik bilgi işlem yaklaşımı olarak da aynı derecede ilgi görmektedir. Literatürde TRIZ'in farklı alanlarda uygulanmasına yönelik araştırmalar bulunmakta, teorik olarak gelişimi sağlayabilecek ciddi bir katkı gözlemlenmemektedir. TRIZ tabanlı araştırmalarının çoğunluğunun düşük etkili dergilerde yayınlandığı ve uygulama odaklı olduğu gözlemlenmiştir.

TRIZ'in en güçlü ve kabul görmüş sistematik yenilikçilik metotlarından birisi olmasına rağmen beklenen etkiye ulaşamamasının sebeplerinin araştırılması gerektiğini belirten Spreafico ve Russo, 2015 tarihli çalışmalarında TRIZ'in endüstriyel uygulamalarını araştırmışlardır [48]. 200'ün üzerinde çalışmayı irdeleyen yazarlar, şirketlerin neden TRIZ'e ihtiyaç duyduğunu, hangi araçların ne sıklıkla kullanıldığını, diğer yöntemlerle nasıl birleştirildiğini ve endüstri ile akademinin uygulamalar konusunda nasıl bir ilişkide olduklarını incelemişlerdir. Çalışmalarında uygulamaların ait olduğu sektörler incelendiğinde en büyük paya sahip sektörün enerji ve elektrik uygulamaları (%19) olduğunu, şirketlerin ise en çok kalite iyileştirme amacıyla TRIZ'i kullandıklarını, en çok kullanılan TRIZ aracının çelişki matrisi olduğunu, TRIZ ile en çok kullanılan metodun QFD (Kalite Fonksiyonu Yayılımı/ *Quality Function Deployment*) olduğunu, çalışmaların yarısından fazlasının fikir ve konsept aşamasında kaldığını tespit etmişlerdir. Yazarların kullandığı istatistiklerin kaynaklarına ise ulaşmak mümkün olmadığından %19 olarak ifade edilen enerji ve elektrik uygulamaları ile %11 olarak ifade edilen elektronik uygulamalarının niteliğini analiz etmek mümkün olmamıştır.

TRIZ'in Elektronik Uygulamaları

TRIZ'in devlet eliyle desteklendiği bilinen Güney Kore merkezli Dünyanın en büyük elektronik üreticilerinden olan Samsung'un Elektronik bölümünde yürütülen TRIZ faaliyetleri ile ilgili hazırlanan 2004 tarihli çalışmada [37], Kang v.d. insan gücü, süreç ve üretim açısından TRIZ'i incelemişlerdir. TRIZ'i uygulamaya almak isteyen firmalar için iyi bir referans çalışma olma amacıyla olduklarını aktaran yazarlar, TRIZ'in uygulanması ile 2003 yılında 150 milyon Amerikan Doları tasarruf edildiğini, 67 ARGE projesinden de 52 patent türetildiğinin altını çizerek TRIZ'in elektronik alanındaki potansiyelini göstermişlerdir. Televizyon, telefon ve benzeri ürünlerdeki pazar payındaki liderliği, kurumsal olarak yenilikçiliğe her zaman önem verilmesine bağlayan yazarlar, mevcut başarının yakalanması ve sürdürülebilir olması için ise TRIZ metodolojisinin “yeterli” olduğunu belirtmişlerdir. TRIZ'in Samsung Elektronikte ürün geliştirme için mühendislik problemlerinin çözümünde, maliyetlerin azaltılmasında, geliştirme süresinin azaltılmasında, dış kaynaklı patent kullanılmasının engellenmesinde, teknolojik evrimin gözetilerek ürün planlanmasında kullanıldığını aktarmışlardır. İnsan gücü açısından TRIZ'in öğrenilmesi ve uygulanması için oldukça zaman gerektiğini, bu sebeple danışmanlık hizmeti alındığı ve yoğun bir eğitim programı yürütüldüğü belirtilmiştir. Süreç açısından ise proje, eğitim ve danışmanlık olmak üzere 3 kısımdan bahsedilmektedir. Proje sürecinin Altshuller'in üzerinde çalıştığı son sürüm olan ARIZ 85C sürümü ile çalışıldığını belirten yazarlar, “TANIMLA (*DEFINE*)”, “ANALİZ ET (*ANALYZE*)”, “TÜRET(*GENERATE*)”, “DEĞERLENDİR (*EVALUATE*)”, DOĞRULA (*VERIFY*)” olmak üzere 5 aşamalı hibrit bir yaklaşım ile projelerin yürütüldüğünü ifade etmektedirler. Eğitim ise sadece seminer tipi pasif bir öğrenimin değil, aktif bir eğitim tipi tercih edildiği, temel 40 saatlik eğitime ek olarak gönüllüler ile 40 saatlik de uygulama eğitimi yürütüldüğü, sertifikasyon amacıyla da ayrıca uzmanların gözetiminde 64 saatlik ek bir eğitim süreci bulunduğu belirtilmiştir. Danışmanlık ise kurum içi çalıştayların düzenlendiği ve davet edilen uzmanlar ile süreçlerin beraber yürütülerek “en iyi uygulama” projelerinin seçildiği belirtilmektedir. TRIZ araçlarının hem disiplinlerarası bilgi birikimi gerektirdiği, hem de sorunun ait olduğu alana ait sağlam bir altyapıya ihtiyaç duyduğu hatırlatılarak TRIZ projelerinde doğru ekiplerin ve uygun süreçlerin seçilmesinin önemine vurgu yapılmıştır. 6-sigma aracının Samsung'da ana yenilikçilik aracı haline geldiğini belirten yazarlar, TRIZ'in 6-sigma yöntemlerinin açıklarını kapatmakta başarılı olduğunu dile getirmektedirler. Son olarak üretim açısından, kısa vadeli ve uzun vadeli üretim olmak

üzere iki yaklaşım olduğu belirtilmektedir. Kısa vadeli üretimde süreç iyileştirilmesi, maliyet azaltılması ve patent kullanımından kaçınılması gibi hedefler konduğu; uzun vadeli üretimde ise kurum içi TRIZ uzmanları ile yazılım problem çözümleri, yeni ürün konsept türetilmesi ve öngörü analizleri hedeflendiği belirtilmektedir. Yazarlar, sonuç olarak Samsung Elektronik'in başarısında özellikle kurum içi kültürde TRIZ'in sahiplenilmesinin son derece önemli olduğunu, 6-sigma süreci ile de pek çok alanda iyi etki elde edildiğini iletmektedirler.

Yenilikçilik ve ARGE'nin ekonomi ve üretkenliğin temeli olduğunu belirten Wang, 2017 tarihli çalışmasında Elektronik ürün geliştirilmesinde TRIZ tekniklerinin desteği ile pek çok patent aldığının belirtildiği Samsung firmasının başarılarından Çin'in örnek alması gerektiğini belirtmiştir [36]. TRIZ araçlarının etkinliğinden ve pratik uygulamadaki başarılarından bahseden yazar, elektronik ürünlerin ARGE'sinde TRIZ tekniklerinin kullanılması ile ürünlerin kalitesinde ve verimliliğinde artış sağlanabileceğini, son kullanıcı tarafından sevilen ürünler ortaya konması ile Çin'in elektronik ürün pazarındaki yerini güçlendireceğini savunmuştur.

TRIZ tekniklerinin elektronik ve haberleşme mühendisliği özelinde değerlendirilmesinin bir örneği olarak değerlendirilebilecek 2008 tarihli çalışmalarında Ayub ve Filmore, daha önce bu alanda TRIZ prensiplerinin geliştirilmemiş olmasını "şaşırtıcı" bularak 40 yaratıcı prensip aracını uyumlandırmayı denemişlerdir [34]. Yazarlar mikroelettronik, inşaat, üretim, finans gibi alanlarda bu tip uyumlandırma çalışmalarının literatürde yer aldığını, fakat hızlı büyümekte olan elektronik haberleşme alanında benzer bir çalışmaya rastlamadıklarını belirtmişlerdir. 40 prensibin uyumlandırılması için ise alanda çalışan tecrübeli kişiler ile mülakat yolunu seçmişler, topladıkları örnekleri ise sınıflandırarak çalışmalarını tamamlamışlardır. Çalışmalarında daha sonra genişletilmesi ve denenmesi gerektiğini belirterek, ortaya koydukları elektronik haberleşme için 40 prensip önerilerinin tamamını çalışmalarının eki olarak sunmuşlardır. Her ne kadar önerileri elektronik haberleşme tekniklerine özel olarak sunulmuş olsa da, elektronik donanım tasarımı için yürütülecek bir çalışma için de ilham verebilecek bir nitelikte olduğu değerlendirilmektedir.

Ayub ve Filmore'un çalışmasına da ilham olduğu gözlemlenen, sektörde büyük olarak nitelendirilebilecek bir pasif devre elemanı üreticisi olan AVX firmasının elemanı olarak

alışan Retseptor'un çalışması ise yine benzer bir motivasyon ile yine 40 yaratıcı prensibin mikroelettronik alanına uyumlandırılmasını hedeflemektedir [35]. Silikon işleme ve benzeri özel mikroelettronik üretim tekniklerini barından bir yapıda olan bu alışma, Ayub ve Filmore'un çalışması için öncül bir konumda olsa da elektronik donanım tasarımı açısından örnek teşkil etmediğı değerlendirilmektedir.

TRIZ'in disiplinlerarası araştırmalara yönelik olarak ihtiyaç duyduğu çerçevenin oluşturulması amacıyla yayınlandığı ifade edilen Moehrle'nin 2005 tarihli alışması, TRIZ araçları ile ilgili bilgilerini derlerken dizüstü bilgisayarların güç sistemlerini de örnek olarak kullanmıştır. Bir elektronik mühendisliği uygulaması çıkarma amacı taşımayan çalışmada, TRIZ yöntemlerinin nasıl uygulanabileceğine dair fikir edinilmesi amaçlanmıştır. Nitekim örneğin sonucunda yazar iki bulguyu özetlemektedir: Farklı prensipleri kullanarak aynı fikirlere ulaşmak mümkün olabilmektedir; yaratıcı prensipler kullanıcıyı sadece yönlendirmekte, gerçek çözüme kullanıcı teknik bilgi ve yaratıcılığını kullanarak ulaşabilmektedir [38].

Chen ve Huang tarafından 2015 yılında yayınlanan çalışmada, TRIZ ve Kalite Fonksiyonu Yayılımı (QFD) kullanılması ile dizüstü bilgisayarlarda elektromanyetik uyumluluk (EMC) sorunlarının çözülmesi hedeflenmiştir [17]. Ender elektronik uygulamalarından sayılabilecek çalışmada, elektromanyetik uyumluluk sorunlarının genelde genel uygulama prensiplerinin uygulanması ile engellenmeye çalışıldığı ve ortaya çıkan sorunların kökenlerinin de deneme-yanılma ile tespit edilmeye çalışıldığı ifade edilmiştir. QFD ve TRIZ'in kullanılması ile EMC sorunlarının hızlıca çözülmesini sağlanması için, TRIZ'in 40 yaratıcı prensibinin uyumlandırılması ile bir EMC test standardı önerilmiştir. Önerilerden yola çıkarak, dizüstü bilgisayarın elektronik donanımları üzerinde eleman değişikliği, ekranlama, geometrik izolasyon gibi denenmiş ve etkinlikleri tartışılmıştır. TRIZ ve QFD sayesinde ortaya çıkarılan sistematik sürecin çalışmanın hedeflerini yakalamada başarılı olduğu belirtilmiştir.

2017 tarihli çalışmalarında Silikon plakaların testinde kullanılan prob kart test cihazının iyileştirilmesinde TRIZ'i kullanan Huang vd., cihazın ölçüm performansının iyileştirilmesinin önündeki engelleri işlev analizi ile tespit ederek bunların kökenindeki çelişkileri Madde-Alan analizi ile keşfetmişlerdir [28]. Bir önceki çalışma [17] ile yaklaşım olarak benzerlik gösteren çalışmada, baskı devre kartının tasarım özellikleri ile

ilişkilendirilen elektromanyetik girişim sorunların da standart prensipler ile çözümlendiren Yazarlar, patent araştırması sonucunda kavramsal çözümden uygulanabilir 3 fiziksel çözüme ulaşmışlardır. Çözümlerin uygulanması ile olumlu sonuç alındığı belirtilmektedir.

Söz konu iki çalışmanın [17, 28] TRIZ'in elektronik donanımların işlevsel analizinden yola çıkarak çelişkilerin çözümünde kullanımında örnek teşkil edebileceği değerlendirilmektedir.

Türkiye'deki TRIZ çalışmalarının durumunu araştırmak amacıyla 2018 yılında Uyar, Şahin ve Öztürk tarafından gerçekleştirilen çalışmanın [43] sonuçları da elektronik mühendisliği uygulamalarının yetersiz olduğu bulgusunu destekler niteliktedir. YÖK'ün Ulusal Tez Merkezi veritabanında TRIZ çalışmalarının tarandığı çalışmanın bulgularına göre, TRIZ araçlarının kullanım amaçlarına göre “TRIZ ve araçlarının tanıtımı, ürün tasarımında TRIZ kullanımı, süreç tasarımında TRIZ kullanımı ve veribankası olarak TRIZ'in kullanılması” olmak üzere 4 kategoride toplam 14 tez çalışması bulunduğu belirtilmektedir. Bu çalışmaların tamamının yüksek lisans tezi seviyesinde olduğu aktarılmış ve çalışmaların hangi anabilim dalında nasıl bir yaklaşımla yapıldığı incelendiği anlatılmıştır. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde, tez çalışmalarının yaklaşık çeyreğinin ürün geliştirmeye odaklandığı, ağırlıklı olarak çelişki matrisi aracının kullanıldığı, neredeyse yarısının endüstri mühendisliği anabilim dalında gerçekleştirildiği ve yine yaklaşık yarısının süreç tasarımı için kullanıldığı gözlemlenmektedir. Yazarlar da bu sebeple “TRIZ araçlarının, Elektrik ve Elektronik mühendisliğine uygulanabilirliğini araştırılması için mevcut bir donanımın iyileştirilmesinde alınan tasarım kararlarında TRIZ araçlarının kullanılmasının çalışılmasını” önererek, “TRIZ araçlarının bilinirliğinin arttırılması ve tasarım kararlarının alınmasında kullanılmasının etkinliğinin artmasının beklendiğini” belirtmektedirler.

Sonuç olarak, literatürde yer alan çalışmalar ve bu literatüre yönelik analitik çalışmalar göstermektedir ki, TRIZ için öngörülen yüksek potansiyelin günümüzde gerçekleşmesinin önünde hem kültürel hem metodolojik engeller bulunmaktadır. Patentlerdeki evrensel örüntülerin keşfinden yola çıkarak adeta evrensel bir sorun çözme sistematığı ortaya koyma iddiasındaki TRIZ, bulgularının insan zihninin içyapısını inceleyen psikolojik, nörolojik veya tıbbi herhangi bir araştırmaya dayanmıyor olsa da uygulamada bulgularının geçerliliğinin kabul gördüğü ve pek çok araştırmaya konu olarak olumlandığı söylenebilir.

Pek çok araştırma TRIZ'e olan ilginin de azalmakta olduğunu belirtmekle beraber, ulaşılan platonun yeni bir yaklaşım veya teorik ilerleme ile tersine döneceğini ifade etmektedir. Buradan yola çıkarak TRIZ araçlarının yakalamakta geç kaldığından değinilmeyen ve günümüz literatüründeki uygulama azlığı dikkat çeken Elektrik-Elektronik Mühendisliği uygulamaları TRIZ literatürüne bu yönde katkıda bulunabilecek potansiyeli gösterdiği söylenebilir.

2.3. TRIZ'in Temel Bulguları ve Sistematik Yenilikçilik

Sistematik Yenilikçilik düşüncesi ve bu düşüncenin etrafında tomurcuklanmış olan bulgular, Altshuller'in oluşturduğu klasik TRIZ literatürünün felsefi temelini oluşturmakta olan 3 çalışmasında yer almaktadır. Modern TRIZ araçlarının bel kemiğini de oluşturmakta olan bu çalışmalar, kronolojik olarak da yenilikçiliğin psikolojisinin incelenmesinden, sistematik yenilikçilik için bir algoritma geliştirilmesine doğru giden bir profil çizmektedir. Bu kısımda da TRIZ'in temel bulguları ve sistematik yenilikçilik, söz konusu bu çalışmalar üzerinden kronolojik sırasıyla incelenecektir:

- “Buluşçu Yaratıcılığın Psikolojisi / *The Psychology Of Inventive Creativity*”
- “Ve Birden Mucit Ortaya Çıkıverdi / *And Suddenly the Inventor Appeared*”
- “Yenilik Algoritması / *The Innovation Algorithm*” ve ARIZ85-C sürümü

Literatürdeki eleştirilerinden yola çıkarak teoremin kavranması adına her üç çalışma da bütünüyle irdelenmiş, fakat yazılı olarak aktarımı bu tez çalışması kapsamına alınmamış, temel bulgular ile kullanılan araçlar aktarılmaya çalışılmıştır.

2.3.1. TRIZ'in temeli ve “Buluşçu Yaratıcılığın Psikolojisi” üzerine ilk bulgular

TRIZ'in temelinde yatan ana düşünce olan yenilikçiliğin sistematik bir şekilde yürütülebileceği düşüncesi ve bu düşüncüyü destekleyen temel bulguları ilk defa 1956 yılında Altshuller'in Shapiro ile yayınladıkları “Buluşçu Yaratıcılığın Psikolojisi” isimli makalelerinde dile getirilmiştir [49].

Çalışmalarında, teknolojiyi iyileştirmeye ve katkıda bulunmaya yönelik yaratıcı faaliyetlerde bulunan bir mucidin zihinsel eylemlerinin, sanat eserlerinde görüldüğü gibi

soyut bir yaratıcılık eylemine kıyasla bilim ve teknoloji yasalarına bağımlı nesnel bir yanı olduğunu belirtmişlerdir. Yaratıcılığa geleneksel bakış açısını eleştirerek, araştırmalarını teknik yaratıcılığın ancak teknolojik gelişmelerin yasaları hakkında derin bir bilgi ile açıklanabileceği savı üzerinde odaklanmışlardır. Bir mucidi buluşa götüren sürecin psikolojisini anlamak ve buluş sürecinin psikolojik örüntülerini tanımlamak için; mucitler tarafından yürütülen yaratıcı çalışma sürecini sistematik olarak gözlemlenmesinin, yenilikçilerin deneyimlerini genelleştirilmesinin ve gerçek dünyaya mümkün olan en yakın koşullarda deneyler yaparak buluşçu yaratım sürecini deneysel olarak incelenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Bir sistemin geliştirilmesinde bir düşünce taslağı olduğunu belirten yazarlar, bu taslağı 5 tespit ile açıklamaktadırlar. Öncelikle, bir sistemi (makine, mekanizma, süreç) oluşturan unsurların birbirleriyle her zaman yakın ilişki içerisinde olduğu belirtilmektedir. Yazarlara göre sistemin gelişimi ise mevcut duruma uyuma göre başlamakta ve sürdürülmektedir, yani sistemin bazı unsurlarının gelişimleri diğerlerini geride bırakmaktadır. Sistemin düzenli gelişiminin, daha gelişmiş eleman ile daha az gelişmiş parçaları arasındaki çelişkiler ortaya çıkana ve daha “akut” hale gelinceye kadar mümkün olduğu ifade edilmektedir. Bu “akut” çelişkiler ise, sistemin tamamının geliştirilmesi önünde adeta kronik bir sorun teşkil etmeye başladığından bu çelişkinin çözümü yeni bir buluş ortaya çıkarmaktadır. Sistemin bir kısmındaki köklü bir değişikliğin ise diğer kısımlarda işlevsel olarak koşullanmış bir takım değişiklik yapılmasını zorunlu kıldığı iletilmektedir. Bu 5 tespitten yola çıkarak ait olduğu teknoloji kolundan bağımsız olarak yeni bir teknik probleme bulunan her bir yaratıcı çözümün 3 ana ögesi bulunduğu değinilmiştir. İlk olarak problemin formülasyonu ve standart olarak uygulanan ve hali hazırda bilinen teknik metotları kullanarak problemin çözümünü engelleyen çelişkinin tespiti gerekmektedir. Daha sonra yeni ve daha yüksek bir “teknik etki” ortaya çıkarmak için çelişki nedenlerinin ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır. Son olarak da müdahale edilerek yeni bir form verilmiş elemana sahip olan iyileştirilmiş sistemin diğer elemanları da aynı seviyeye getirilmesi gerekmektedir. Söz konusu 5 tespitten oluşan bu düşünce taslağını yazarlar, yeni bir teknolojik problemin yaratıcı olarak çözülmesi sürecini amaç ve yaklaşımlarına göre sırasıyla analiz, operasyonel ve sentez olmak üzere 3 aşamalı bir şema olarak özetlemişlerdir. Şemanın adım adım detayları EK-1’de yer almaktadır.

2.3.2. Sistematikleştirilen yenilikçilik ve herkesin teknik sorun çözebileceği fikrinin yayılması

1984 tarihinde SSCB’de, 1994 tarihinde ise ABD’de yayınlanan “Ve Birden Mucit Ortaya Çıkıverdi / *And Suddenly the Inventor Appeared*” isimli çalışmasında Altshuller, kitabın yayınlanmasındaki tek niyetinin teknik problem çözüm sürecinin herkes tarafından erişebilir, öğrenmesi önemli ve çalışmak için oldukça heyecan verici olduğunu göstermek olduğunu belirtmiştir [50:4]. 6 bölüm altında, 78 adet gerçek teknik sorun örneği üzerinden 27 yaratıcı fikir metodu ve teknik çelişki kavramını içeren kitabını kaleme aldığı anda artık klasik TRIZ araçlarının birçoğu oturmuş, ARIZ gibi yaklaşımlar ortaya konmuş durumdadır. Bu sebeple kitap bir bütün olarak ele alındığında, bir önceki çalışmada değinilen “mucitlerin teknolojik tecrübe ve yaratıcılık sistematığı üzerinde zihin egzersizleri yapmasının zorunluluğuna” bir çözüm olarak, kitlelerin sistematığı özümsemesine yardımcı olmak için geliştirildiği gözlemlenebilmektedir. Nitekim teknik sistemlerin evrimlerinin de diğer sistemlerde olduğu genel evrim yasalarına tabi olduğu ve bu yasalara ait bilgilere sahip olunmasının yaratıcı sorunları çözümlemekte yardımcı olacağı fikri basit ve öyküsel bir dil kullanılarak okuyucuya aktarılmaya çalışılmıştır. TRIZ’in geliştikçe öğrenci hedef kitesinin profesyonel mühendislerden ilkokul çocuklarına kadar yayılabildiğini gözlemlediklerini belirten yazar, kitabın üslubunun da akademik/teknik bir metinden uzak olmasını amacına uygun olarak bu şekilde açıklamaktadır.

Yazar eseri boyunca hem seminer ve eğitimlerdeki anılarından hem de yaşanmış buluşçu öykülerden esinlenerek kavramsal örneklendirmeler yapmaktadır. Anında çözümü talep edilen çelişkili ya da “imkânsız” sorunların çözümünün rastlantısal yöntemlerle değil günler ve haftalar, bazen bir ömür sürebileceğinden bahseden Altshuller, böylelikle TRIZ araçlarının kullanım gerekçesini de ortaya koymuş olur. Teknik evrimin kendi “karakteristiği ve yasaları” olduğunun altını çizen yazar, başka zamanlarda ve yerlerde aynı problemle bağımsız olarak uğraşan mucitlerin benzer sonuçlara ulaşmasını da buna bağlamaktadır. Belli bir düzen ve örüntünün teknik sorunların çözümünde formüle edildiğinde deneme yanılma varyantları için zaman kaybedilmeyeceğini savunmaktadır. Standart çözüm metotlarına ek olarak ortaya konan ilk düşünce ise, teknik çelişki kavramı, yani sistemin iyileştirilmesi istenen bir parçasının, sistemin diğer parçaları ya da ardışık komşu sistemler üzerinde olumsuz bir etki yaratabilmesidir. Yaratıcı çözüm kavramı da bu

düşünceye dayanarak tanımlanmıştır: “Yaratıcı bir çözüm, sistemin geri kalan parçalarında veya komşu sistemlerde olumsuz bir etki oluşturmada sistemin tek bir parçasının veya karakteristiğinin iyileştirilmesidir.” [50:15]. TRIZ araçlarının temelini oluşturan, “yaratıcı bir çözüm her zaman, tespit edilerek çözülen teknik çelişkilere dayanır” bulgusu, böylelikle ortaya konmuş olmaktadır.

İdeal nihai sonuçları (IFR) kısaca “ulaşılamayacak bir hayal” olarak tanımlayan Altshuller, çözüme giden yolun belirlenmesindeki önemini TRIZ’i bir köprüye IFR’ı ise onun ayaklarından birine benzeterek vurgulamaktadır [50:70]. İki adımda IFR’ın uygulanabileceği belirtilmiştir: İlk olarak ideal nihai sonucun herhangi bir teknik ya da fiziksel kısıt ve kıstas gözetilmeksizin hayal edilmesi gerekecek, ardından yapısal bir değişime gitmeden en az değişikle bu sonuca ulaşmaya çalışılacaktır [50:73]. IFR’ın formülleştirilmesinde, teknik evrim yasalarının göz önünde bulundurulması gerektiğini ve ideal makinenin varoluşsal çelişkisinin hatırlanmasının zihinsel süreci rahatlatan psikolojik bir araç olduğunu belirtmektedir [50:106]. IFR ortaya konduğunda ortaya çıkan fiziksel çelişkilerin, madde-alan analizinde müdahale gereken noktaların tespitini oldukça kolaylaştırdığı gözlemlenmektedir. Nitekim TRIZ araçlarının kullanımında da ilk başvurulacak araç durumundadır.

Muhtelif TRIZ araçlarını ve yaratıcılık prensiplerini tanımlayıp aktardıktan sonra Yazar, ARIZ’i tanımlarken, IFR’ın önemini belirtmek için daha önce kullandığı köprü benzetmesini hatırlatarak, “sorundan çözüme giden köprünün” tamamını ARIZ’e benzetmiştir. ARIZ’in her biri farklı operasyonları barındıran ara basamaklardan oluşan 7 ana bölümden ibaret olmak üzere toplam 50 kadar adıma sahip olduğunu belirtmiştir. Ana bölümler aşağıdaki gibi sıralanmakla beraber, her bir aşama birtakım kurallarla beraber örneklendirilerek aktarılmıştır:

1. Problemin formülleştirilmesi
2. Problemden problem modeline geçiş
3. Problemin analiz edilmesiyle çelişkilerin teşhisi
4. Çelişkilerin TRIZ araçları ile çözümü
5. Çözümün adım adım analizi
6. Bulunan çözümün geliştirilmesi
7. Çözümün kontrol edilmesi

ARIZ'in ilk 3 bölümünün aynı amaca hizmet ettiğini ve her bir adımında kök nedene biraz daha yaklaşmayı amaçladığını vurgulayan Altshuller, zor problemler için üç bölümün de ardışık olarak uygulanması gerektiğini belirtmektedir.

2.3.3. Sistematik yenilikçilik için İdeal-Nihai Sonuç: kendi kendini geliştirebilen bir teori

TRIZ'in ana analitik aracı olarak nitelendirilen ARIZ, “Yaratıcı Problem Çözme Algoritması” olarak Türkçeleştirilebilecek Rusça *Algorithm Reshenya Izobretatelskyh Zadach* kelimelerinin baş harflerinden oluşan bir kısaltmadır. TRIZ terminolojisi sözlüğünde belirsiz veya kötü tanımlanmış bir başlangıç probleminin analiz edilerek özel bir sistem çatışmasına dönüştürmek için oluşturulmuş bir mantıksal prosedürler dizisi temeline dayandığı ifade edilmektedir [51]. Sistem çatışmasının sorunun odağına alınmasının ise formüle edilebilen fiziksel çelişkinin, ayırıştırma ilkelerinin (*separation principles*) ve sistem kaynaklarının azami kullanımının sağlanması ile çözülebilmesini sağladığı belirtilmektedir. Prosedürlerini desteklemek için çeşitli psikolojik ve sistematik operatörleri içerdiği ifade edilen ARIZ'in, ideal teknik sistem (*ideal system*), sistem çatışması (*system conflict*), fiziksel çelişki, Madde-Alan analizi (*Substance-Field, Su-Field*), Buluşçu Standartlar ve Teknik Sistemlerin Evrimi Yasası gibi TRIZ'in en temel kavram ve yöntemlerinden oluşan bir sistem olduğu dile getirilmektedir. ARIZ'in farklı TRIZ okulları tarafından yeni sürümlerinin ortaya atılmış olmasına rağmen, henüz resmi olarak kabul görmüş en güncel sürümünün ARIZ-85C olduğu belirtilmektedir. Öte yandan, TRIZ'in sistematik olarak uygulanabilmesi için yayınlanmış olan “Yenilik Algoritması / *The Innovation Algorithm*” isimli çalışmada ortaya atılmış olan ARIZ kavramının, 1999 tarihli İngilizce ve 2013 tarihli Türkçe edisyonlarda ARIZ-59, ARIZ-61, ARIZ-64, ARIZ-65 ve son olarak ARIZ-71 sürümlerinden bahsedilmektedir [44, 47]. Her ne kadar Yazar, Algoritmanın kendi kendini güncelleyebilen ve uyumlandırılabilen bir yapıya sahip olduğunu belirtse de 1973 tarihli orijinal çalışmanın çevirileri olan söz konusu referans kaynakta ARIZ-85C sürümüne yer verilmediği gözlemlenmektedir. Bu sebeple bu kısımda ARIZ iki aşamada ele alınacaktır. Kökenlerindeki düşüncenin ve mekanizmaların ortaya konması için “Yenilik Algoritması / *The Innovation Algorithm*” çalışması özetlenecek, bu çalışmadan elde edinilen bilgi ile de ARIZ-85C ana hatları ile açıklanacaktır. Böylelikle EKS'ler için EKE özelinde TRIZ'in uygulanabilmesi için gereken teorik altyapı hazırlanmış olacaktır.

“Yenilik Algoritması”

Altshuller’in önceki çalışmalarını destekleyen ve düzenleyen bir yapıda kurgulanmış olan kitap, 3 ana bölümde kaleme alınmıştır [44]. Yazar ilk bölümde buluşçu yöntemler ile kendisinin öne sürdüğü düşünce sistemi karşılaştırarak önceki eserlerinde de bahsettiği TRIZ’in temellerini ve gerekçelerini aktarmıştır. İkinci bölümde, aktardığı bu bilgilerin uygulamaya konulmasını sağlayacak olan sistematigi, ARIZ’i, tanıtarak, pek çok örnekle TRIZ’in 40 prensip aracı ile beraber yaratıcı problemlerin çözümünün sistematik olarak nasıl yapılacağını açıklamıştır. Kitabın son bölümünde ise önerdiği sistematigin uygulanmasında mucidin payını irdelemiş, yaratıcılığın önündeki zihinsel engelleri ve bunların aşılmasına yönelik önerilerini aktarmıştır.

Algoritmayı, “mantık, sezgi ve becerilerden oluşan bir alayım” olarak tanımlayan Altshuller, aynı adı taşıyan bölümde algoritmanın nasıl çalıştığını ve neden kullanılması gerektiğini aktarmaktadır [44:121-131]. Algoritma içerisinde atılan adımların bazen tamamen mantıksal olduğunu, bazen de mucidin sezgilerini uyararak yönlendirme amacını taşıdığını belirten yazar, bazı durumlarda sadece geniş kapsamlı buluşsal deneyimlere dayanan adımlar bulunduğundan bahsetmektedir. Çoğunlukla problem tanımlarının eksik ya da yanlış yapıldığından, algoritmanın ilk iki aşamasının problemin seçilmesinin ve şartlarının yeniden tanımlanmasına ayrıldığı belirtilmektedir. Anketlerin ve araştırmaların mucitlerin genelde problem şartlarının iyi tespit edilmeden problemin çözülmeye çalıştığını gösterdiğini ve bunun da birden çok iterasyona sebep olduğunu aktaran yazar, algoritmanın bu sık karşılaşılan hatayı dikkate alarak adım adım tamamen mantıksal yaklaşımla problemin özüne inilmesini sağladığını ifade etmektedir. Yaratıcılığın önündeki zihinsel engellerin ana kökenlerinden birisi olarak, tanımlamalarda kullanılan kelimeleri sorumlu tutan yazar, “orijinal terminolojinin” mucidin hayal gücünü engellediğini belirtmektedir. Çalışmaları öncesi patent incelemesini bu sebeple reddeden mucitlerin bulunduğunu ve algoritmanın bu patent bilgilerini genelleştirerek aktarmasından ötürü bu konuda da mucide yardımcı olabildiğini aktarmaktadır.

ARIZ’in ilk iki bölümünün çok karmaşık olmayan bir problem için araştırma sürecini ayrı tutulursa 2 saatten daha fazla zaman gerektirmeyeceğini belirten yazar, algoritma kapsamında problem çözmeyi “önemli ölçüde kolaylaştırdığı” uygulama ve seminerlerle ispat edilmiş pek çok adımın yer aldığını aktarmaktadır. Bu adımların tamamını

uygulamanın zorunlu olmadığına dikkat çeken Altshuller, algoritmanın insanlar için tasarlandığı için “yoğun olmak zorunda olduğunu” hatta bu söz konusu 2 saatlik çalışma sayesinde problemin özü hakkında bilgi edinen mucidin kazanacağı özgüvenin de ilhamın kaynağı olduğunu ifade etmektedir [44:126].

Yazar ARIZ-61 ve ARIZ-71 sürümleri arasındaki farklara dayanarak, ARIZ sürümlerinin iki yönde gelişmekte olduğunu belirtmiştir: Psikolojik faktörlerin daha da dikkate alınarak algoritmanın daha esnek kılınması ve yaratıcı sürecin her aşamasında çözüm arayışının iyileştirilmesi ile algoritmanın daha isabetli kılınması [44:120]. Yazarın geleceğe dair bir başka öngörüsünün ise algoritmanın otomatikleştirilmesine yönelik olduğu söylenebilir: Yazar, algoritmanın mantıksal ve net adımlara sahip olmasına rağmen insanın düşünce süreçlerini ve psikolojisini içeren yapısına dayanarak bir makine tarafından kullanılamayacağını belirtmektedir [44:122]. ARIZ-61 ve ARIZ-71 sürümleri bu çalışma kapsamında kullanılmamış olup, detayları EK-1’de yer almaktadır.

ARIZ-85C

Altshuller’in “Yenilikçi Problem Çözme Algoritması/*Algorithm of Inventive Problem Solving*” isimli çalışmasında, geliştirilmesinde bizzat çalıştığı ve kabul görmüş en güncel sürüm olarak tanımlanan ARIZ-85C’nin ana akışı Çizelge 2.1’de özetlenmiştir [52]. ARIZ-85C’nin ana akışına bakıldığı zaman, Altshuller’in 50’li yıllarda ortaya koyduğu temel bulgular ile aynı öze sahip bir yapı görülebilmektedir. Ardışık 9 Bölümden oluşan algoritma, yine problemin analizi ile başlamakta, kök nedenlerin tespitinden sonra çözüm örüntülerine başvurmakta, uygulamanın devreye alınmasından sonra elde edilen sonucun kontrolü ile devam etmektedir. Algoritmanın evrensel bir yapıda tutulabilmesi için ise 1956 tarihli çalışmasına ek olarak algoritmanın kendisine yönelik bir geliştirme ve gözden geçirme adımı eklendiği gözlemlenmektedir. Altshuller bu çalışmasında da, daha önceki çalışmalarında olduğu gibi algoritmanın her bir bölümünü ve alt adımlarını tek tek açıklayarak ve yine örnekleyerek özetleme yolunu tercih etmiştir.

Çizelge 2.1. ARIZ-85C bölümleri ve uygulama basamakları

Ana Aşamalar	Uygulama Basamakları
Bölüm 1. Problemin Analizi	1.1. Mini problemin formüle edilmesi 1.2. Çatışan elemanların tanımlanması 1.3. Teknik çelişkiler için grafik modellerin tanımlanması 1.4. İleri analiz çalışmaları için bir grafik model seçilmesi 1.5. Çatışmanın yoğunlaştırılması 1.6. Problem modelinin tanımlanması 1.7. Yaratıcı standartların uygulanması
Bölüm 2. Problem Modelinin Analizi	2.1. Operasyonel Bölgenin (<i>Operational Zone / OZ</i>) tanımlanması 2.2. Operasyonel Sürenin (<i>Operational Time / OT</i>) tanımlanması 2.3. Madde-Alan kaynaklarının (<i>Substance-Field resources / SFR</i>) tanımlanması
Bölüm 3. İdeal Nihai Sonucun (<i>Ideal Final Result / IFR</i>) ve Fiziksel Çelişkinin (<i>Physical Contradiction</i>) Tanımlanması	3.1. IFR-1 formülasyonu 3.2. IFR-1 tanımının yoğunlaştırılması 3.3. Makro düzey için fiziksel çelişkilerin tanımlanması 3.4. Mikro düzey için fiziksel çelişkilerin tanımlanması 3.5. IFR-2 formülasyonu 3.6. Fiziksel çelişkinin çözümü için Yaratıcı Standartların uygulanması
Bölüm 4. Madde-Alan Kaynaklarının (<i>Substance-Field Resources / SFR</i>) Etkinleştirilmesi ve Kullanılması	4.1. Küçük yaratıklar simülasyonu 4.2. IFR'dan "geri adım atmak" 4.3. Madde kaynaklarının bir kombinasyonunu kullanmak 4.4. "Boşlukları" kullanmak 4.5. Türetilmiş kaynakları kullanmak 4.6. Elektrik alanı kullanmak 4.7. Alanı ve alana duyarlı bir madde kullanmak
Bölüm 5. Bilgi Tabanının Uygulanması	5.1. Standart Çözüm Sisteminin yaratıcı problemlere uygulanması 5.2. Analogik problemlerin uygulaması 5.3. Fiziksel çelişkilerin eleme ilkelerinin uygulanması 5.4. Fiziksel etkilere ve fenomenlere "işaretçinin" uygulanması
Bölüm 6. Problemin Değiştirilmesi veya Muadilinin Bulunması	6.1. Teknik çözüme geçiş 6.2. Problem formülasyonunun birkaç problem kombinasyonu için kontrol edilmesi 6.3. Problemin değiştirilmesi 6.4. Mini sorunun yeniden formülasyonu
Bölüm 7. Fiziksel Çelişki Çözme Yönteminin Analizi	7.1. Çözüm kavramının kontrol edilmesi 7.2. Çözüm kavramının öncül kestirimi 7.3. Çözüm kavramının önceliğinin patent kaynaklar aracılığı ile kontrolü 7.4. Elde edilen çözüm kavramının uygulanması için alt problemlerin kestirimi
Bölüm 8. Ulaşılan Çözümün Uygulanması	8.1. Üst sistemde gerekecek değişikliklerin kestirimi 8.2. Ulaşılan çözüm için yeni bir uygulama bulunması 8.3. Çözüm kavramının diğer problemlere uygulanması
Bölüm 9. Sorun Çözme Sürecinin Analizi	9.1. Önerilen ve gerçek sürecin karşılaştırılması 9.2. Elde edilen çözüm kavramının TRIZ bilgisi ile karşılaştırılması

Bu çalışma kapsamında ele alınan problemin kavramsal karmaşıklığı 1 numaralı bölümün uygulanması ile çözüme kavuşturulabilecek seviyede olduğundan, daha zorlu problemler

için uygulanması gereken 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı bölümler bu çalışmada uygulanamamıştır. Bu sebeple, Altshuller'in önceki çalışmalarının özetlendiği kısımlarda düşünsel altyapısı aktarılmış olan kalan bu adımlar ARIZ-85C'nin ele alındığı bu kısımda ana hatlarıyla aktarılacak, 1,7,8 ve 9 numaralı bölümler her bir adım üzerinden detaylı olarak incelenecektir.

Bölüm 1. Problemin Analizi: Bu bölümün ana amacının belirsiz bir problem durumundan açıkça formüle edilmiş ve son derece basitleştirilmiş bir problem tanımının elde edilmesi ile problem modelinin elde edilmesi olduğu belirtilmiştir [52:1]. Yazar, bu bölümün problem tanımının netleştirilmesini sağladığından yenilikçi standartların uygulanmasını önermekte, eğer çözüm sağlanırsa Bölüm 7'ye geçilmesini sağlanmazsa Bölüm 2'den devam edilmesini önermektedir [52:8].

1.1. Mini Problemin Formüle Edilmesi: Bu adımda herhangi bir özel terminoloji kullanılmadan tablodaki gibi Çizelge 2.2'deki gibi bir formatta problemin formüle edilmesi gerekmektedir [52:3].

Çizelge 2.2. Mini problemin formatı

Sistemin Tanımı	<Sistemin amacı> için kullanılan teknik sistem <sistem parçalarından> oluşmaktadır.
Teknik Çelişkilerin Tanımı	TÇ1: Eğer <değişiklik yapılırsa>, o zaman <faydalı özellik elde edilir>, fakat <zararlı özelliğe sebep olur>. TÇ2: Eğer <...>, o zaman <...>, fakat <...>.
Değişiklik Kısıtlarının Tanımı	Sistemde asgari değişiklik yapılarak <Gereksinim duyulan koşulun> sağlanması zorunludur.

Sistem parçalarının tanımlanması sırasında sadece sistemin alt parçalarının değil, sistemin etkileştiği komşu sistemlerin ya da doğal etkilerin de göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmektedir. Teknik çelişki kavramının ise sistemdeki faydalı eylemlerin, zararlı eylemleri doğurduğu etkileşimleri tanımladığı aktarılmaktadır. Fayda ve zarar kavramının esnek olduğunu belirten yazar, bazı çelişkilerin direkt olarak problemin tanımlanmasını sağladığını, bazılarının ise “imkânsız” durumları vurguladığından ek sistem gereksinimlerinin türetilmesini sağladığını vurgulamaktadır. Zihinsel ataletin azaltılması

için ise teknik terimlerden kaçınılarak mümkün olduğunca basit kelimelerin kullanılması gerektiğini hatırlatmaktadır.

1.2. Çatışan Elemanların Tanımlanması: Bu adımda çatışmanın odağındaki, işlenmesi gereken eleman olan “ürün (*product*)” ve bu eleman ile direkt olarak etkileşen olan “araç (*tool*)” çiftinin tanımlanarak yazılması gerektiği belirtilmektedir [52:4]. Tanımlama yapılırken aracın birden fazla halde (*state*) bulunması gibi bir durumun söz konusu olması durumunda bu hallerin de açıkça belirtilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

1.3. Teknik Çelişkiler İçin Grafik Modellerin Tanımlanması: Bu adımda “Teknik Çelişkilerin Tipik Grafik Modelleri” tablosu kullanılarak, tanımlanmış çelişkilerin grafik modellerinin tanımlanması gerektiği belirtilmiştir [52:5].

1.4. İleri Analiz Çalışmaları İçin Bir Grafik Model Seçilmesi: Adım 1.3’te tanımlanan grafik modellerden yola çıkarak, bu adımda “ana üretim sürecini” (*main manufacturing process / MMP*) en iyi tanımlayan grafik seçilmeli ve MMP tanımlanmalıdır [52:6].

1.5. Çatışmanın Yoğunlaştırılması: Bu adımda elemanların “aşırı” durumları dikkate alınarak çatışmanın yoğunlaştırılmasının gerektiği belirtilmiştir [52:6-7]. Özellikle çatışmaların büyük bir kısmının azlık-çokluk ve güç ilişkisi üzerinde olduğu hatırlatılarak, azlık durumunda da “yokluk” kavramının gözetilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

1.6. Problem Modelinin Tanımlanması: Problemin formülasyonunu hedefleyen bu adım, soyutlamanın ilk adımı olarak değerlendirilebilir. Bu adımda, problem modelinin 3 ana unsurun üzerine kurulması istenmektedir [52:7]: 1- Çatışan elemanlar. 2- Yoğunlaştırılmış çatışmanın tanımı. 3- problemin çözülmesi için gereken “x-elemanının” ne yapması gerektiği. Altshuller, Adım 1.6’nın tamamlanmasından sonra tekrar Adım 1.1’e dönülerek problem modelinin oluşturulmasının gözden geçirilmesini önermektedir. Bunu da x-elemanının kullanımı ile grafik modellerinin daha isabetli tanımlayabileceği görüşüne bağlamaktadır.

1.7. Yaratıcı Standartların Uygulanması: Bu adımda, eğer kurulan problem modeli “Standart Çözümlerin” uygulanmasını mümkün kılıyorsa çözümün tespit edilerek Bölüm

7'ye atlanması, çözülemiyorsa Bölüm 2'den devam edilmesi gerektiği belirtilmektedir [52:8].

Bölüm 2. Problem Modelinin Analizi: Bu bölümün ana amacının problemin çözümünde kullanışlı olabilecek kaynakların (uzay, zaman, madde ve alan) tespiti olduğu belirtilmiştir [52:9].

Bölüm 3. İdeal Nihai Sonucun ve Fiziksel Çelişkinin Tanımlanması: Bu bölümün uygulanması sonucunda İdeal Nihai Sonuç imgesinin formülasyonunun ve bu sonucun elde edilmesinin önündeki fiziksel çelişkinin tespit edilmesinin hedeflendiği belirtilmektedir [52:11]. Yazar ayrıca ideal çözümün her zaman ulaşabilir olmasa da, en güçlü çözümün elde edilmesi için ilerlenmesi gereken yönün tespitini sağladığını hatırlatmaktadır. İnatçı olmayan problemlerin bu bölümde çözümlenebileceğini ve direkt Bölüm 7'ye geçişin mümkün olduğu da belirtilmektedir.

Bölüm 4. Madde-Alan Kaynaklarının (SFR) Etkinleştirilmesi ve Kullanılması: Bu bölümde amacının iki ana yönde tanımlanabileceğinden bahseden Yazar, bunları şu şekilde açıklamaktadır: İlk olarak 2.3 numaralı adımda tespit edilen kaynakların sistematik bir yaklaşımla zenginleştirilmesi, ikinci olarak da 3.3 ile 3.5 numaralı adımlar süresince başlayan fiziksel kanunların uygulanması ile problemten çözüme geçişin devam ettirilmesi olduğunu belirtilmektedir [52:15]. Pek çok durumda Bölüm 4'ün, çözümün kavramının geliştirilmesini sağladığından Bölüm 7'ye geçişin mümkün olduğu, fakat adım 4.7'den itibaren çözümün bulunamaması durumunda Bölüm 5'e geçişin tavsiye edildiği belirtilmektedir[52:21].

Bölüm 5. Bilgi Tabanının Uygulanması: Bu bölümün ana amacının TRIZ'in bilgi tabanında derlenmiş olan tüm tecrübelerin seferber edilmesi olduğu belirtilmiştir [52:21]. Yazar, algoritmanın bu aşamasında artık problemin oldukça netleşmiş olacağını ve direkt olarak bilgi tabanının kullanılmasının başarı getirmesinin oldukça olası olduğunu anlatmaktadır.

Bölüm 6. Problemin Değiştirilmesi veya Muadilinin Bulunması: Bu bölümde çözülmesi gereken problemin tanımında değişikliğe gidilmesinin değerlendirilmesi gerektiğini belirten Yazar, fiziksel çelişkilerin ortadan kaldırılması ile çözüme kavuşturulabilen

sıradan problemlere kıyasla karmaşık problemlerin çözümüne zihinsel ataletten kurtularak problemin yeniden tanımlanması ile başlanabileceğini belirtmektedir [52:23].

Bölüm 7. Fiziksel Çelişki Çözme Yönteminin Analizi: Bu bölümün ana amacının elde edilmiş çözüm kavramının kalitesinin sınanması olduğu belirtilmektedir [52:25]. Yazar bu bölümde, fiziksel çelişkinin çözümünün herhangi bir ek kaynak kullanmadan gerçekleştirilebileceğinin göz önünde bulundurulması gerektiğini, uygulama aşamasında zorluklara sebep olacak kötü bir fikri engellemesi açısından çözüm aşamasında kaliteyi gözden geçirmek için ek olarak birkaç saatin daha harcanmasını tavsiye etmektedir. Bunun için Adım 7.1’de madde ve alanların yeniden gözden geçirilerek sistemin öz kaynaklarının kullanımının yeterince iyi olup olmadığı değerlendirilmektedir. Adım 7.2 ise dört temel soru üzerinden ideal nihai sonuca yakınlığı, çelişkilerin çözüm durumunu, uygulanabilirliği ve genelleştirilebilirliği denetlemektedir. Adım 7.3 patent bankalarının taranması ile elde edilen çözümün özgünlüğünün kontrolünü sağlamaktadır. Son olarak Adım 7.4 ise elde edilen çözüm kavramının uygulanmasına ket vurabilecek sorunların varlığının tespit edilmesine yöneliktir.

Bölüm 8. Ulaşılan Çözümün Uygulanması: Gerçek bir yenilikçi düşüncenin sadece tek bir problemi çözmediğini, aksine benzer problemlere de uygulanabilecek adeta “evrensel bir anahtar” ortaya çıkarttığını belirten Yazar, bu bölümün amacının da elde edilen çözümün uygulanması ile ortaya çıkabilecek yeni kaynakların etkinleştirilmesi olduğunu belirtmektedir [52:26]. Bunun için öncelikle 8.1 numaralı adımda ortaya çıkarılan çözüm kavramının dahil edildiği üst sistemde ne gibi değişikliklerin gerekeceğinin kestiriminin yapılması gerektiği belirtilmektedir. 8.2 numaralı adımda ise teknik sistemin ya da üst sistemin farklı yeni bir şekilde kullanılıp kullanılmayacağının araştırılması önerilmektedir. 8.3 numaralı adım ise elde edilen çözüm kavramının diğer problemlere uygulanabilmesi için çözümün formüle edilerek bir prensip haline getirilmesinin yollarını araştırmayı amaçlamaktadır.

Bölüm 9. Sorun Çözme Sürecinin Analizi: Çözüm sürecinin eksiksiz olarak analiz edilmesi şartıyla ARIZ kullanılarak çözülmüş her bir problemin bireyin yaratıcı potansiyelini arttırdığını belirten yazar, bu bölümün ana amacının da bu gelişimi sağlamak olduğunu belirtmiştir [52:27]. 2 adımdan oluşan bu bölümde 9.1 numaralı adımda ARIZ ile ortaya çıkarılmış çözüm sürecine kıyasla uygulamaya sırasında ortaya çıkan sapmalar not

edilmeli ve karşılaştırılmalıdır. 9.2 numaralı adım ise TRIZ araçlarının kendini sürekli geliştirmesine sağlayan bir adım olmakla beraber, eğer mevcut TRIZ altyapısının kapsamadığı bir bilgiye ulaşılmışsa bunun belgelenerek altyapıya kazandırılmasını amaçlamaktadır.

3. ELEKTROMEKANİK KONTROL SİSTEMLERİ VE GELİŞTİRİLME SÜRECİNDE ORTAYA ÇIKAN İHTİYAÇLAR

Bu çalışmanın öznesi olan EKS'ler ve EKS'lerin geliştirilme sürecinde harcanan yaratıcı zihin işçiliğinin kullanılmasına yönelik ortaya çıkan ihtiyaçlar üç ana başlık altında incelenmiştir. Öncelikle Emniyet Kritik EKS'ler olan Kontrol Tahrik Sistemleri ve Gimbal Sistemlerinin tanımları ve amaçları açıklanmış, blok şemalarla işleyişleri gösterilmiş, tasarım hedefleri ile iterasyonlar arasındaki ilişki açıklanmıştır. Ardından belirsiz gereksinimler ve bulanık tasarım hedefleri söz konusu olduğunda söz konusu tasarım hedefleri ile iterasyonlar arasındaki ilişkinin nasıl değiştiği bir senaryo ile aktarılmıştır. Son olarak yazılım mühendisliğinde tanınan “çevik” yaklaşımın, belirsiz gereksinimler ve bulanık hedefler söz konusu olduğunda EKS'lerin geliştirilmesinde kullanılan “şelale” modeline kıyasla ne gibi avantajları olabileceği tartışılmıştır.

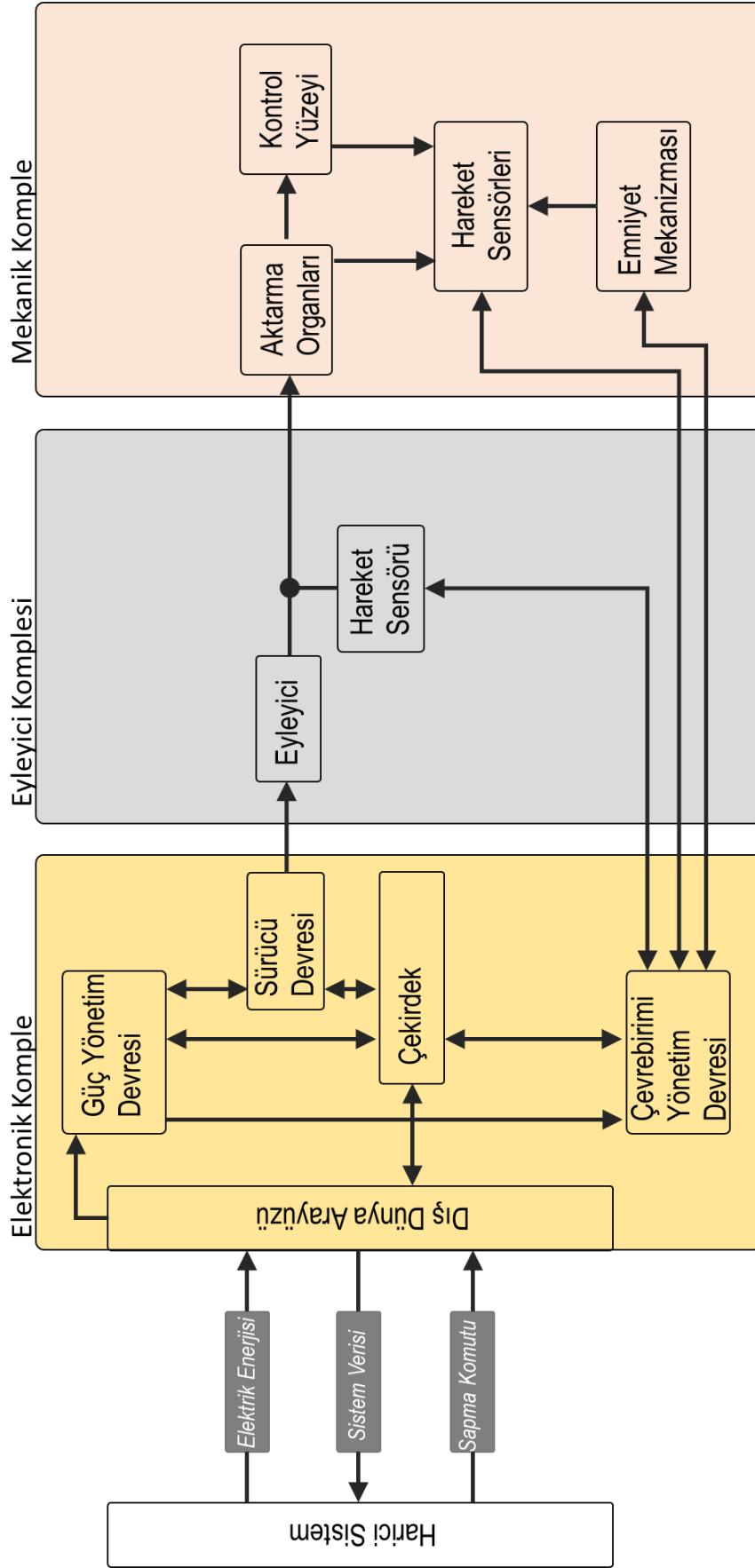
3.1. Emniyet Kritik EKS'ler: Kontrol Tahrik Sistemleri ve Gimbal Sistemleri

İnsansız hava araçları ve güdümlü mühimmatlar gibi hava sistemlerinin belirli bir yörünge boyunca ilerlemesini sağlayan kontrol tahrik sistemleri (KTS), en önemli alt sistemlerden birisi olarak nitelendirilmektedir. Kısa ve orta menzilli hava sistemleri için elektromekanik olarak tasarlanmakta olan bu alt sistemler, kontrol yüzeylerinin sapmalarının bu yüzeylere etkileyen aerodinamik yüklerin altında komut sinyallerine göre gerçekleştirilmesi için çalışmaktadırlar [53]. Gimbal Sistemleri (GS) ise bu hava sistemlerinin hedeflerine kilitlenmesinin ve gövde hareketlerinden bağımsız olarak takibinin sağlanması için üç eksenli hareket kabiliyeti ile görüş açısını arttıran mekatronik sistemler olarak tanımlanabilir [54]. Örneğin havadan karaya laser güdümlü bir mühimmatta kontrol mekanizması olarak kullanılan kanardlar ve gimbal ile gövdeye tutturulan bir arayıcı bulunan bir yapıya sahip olması durumunda mühimmat kendisini yaklaşma vektörü üzerinde hedefe göre uçuş yolunu kontrol edebilecektir. Bu yapıda mühimmatın kontrolü, arayıcının hedefin pozisyonunu uçuş yörüngesine göre algılamasından sonra güdüm elektroniklerinde türetilen komuta göre kontrol tahrik sisteminin kanardların hesaplanan sapma derecesine getirmesi ile sağlanabilmektedir [55]. Arayıcının hedefi algılamasından itibaren de stokastik platform hareketi altında hedef takibini mümkün kılmak için platform hareketinin arayıcıdan izole edilmesi gerekmekte, bu da gimbal eksenlere tutturulan eyleyicilerden, arayıcıya tutturulmuş ataletsel hareket algılayıcılarından, ve bu algılayıcılar

tarafından ölçülen eksenlerde yükün hareketsiz kalmasını sağlayabilecek ataletsel algılayıcı çıktıları mümkün olduğu kadar sıfıra yakın tutmak için bir regülatör olarak çalışan kontrol algoritmasından oluşan bir kontrol sistemi ile elde edilebilmektedir [56]. Elektromekanik KTS ve GS'nin iç yapısını ve işleyişini gösteren blok şemalar sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de görülebilmektedir.

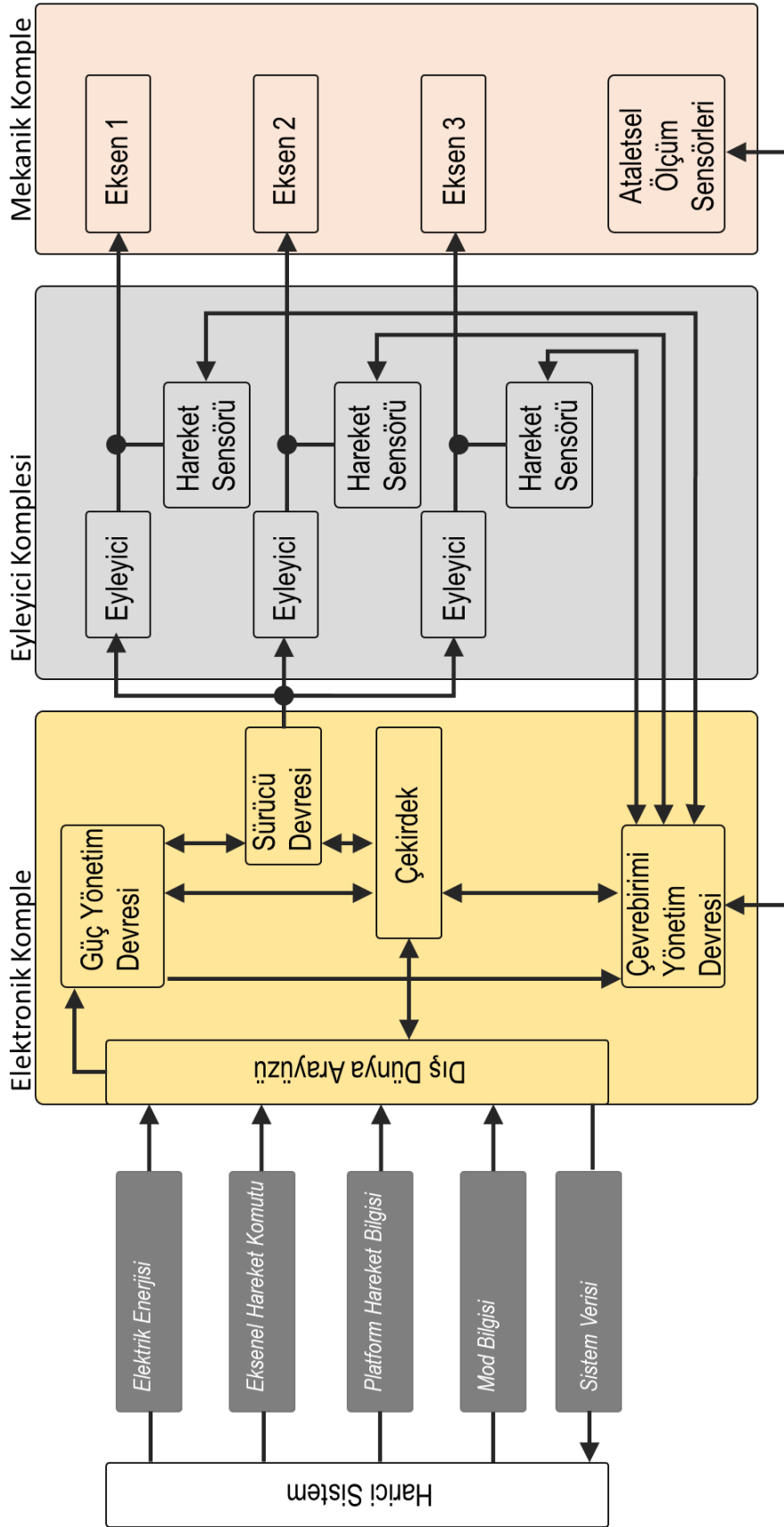
Mühimmatın yörünge kontrolünün ya da hedef takibinin sağlanması için birbirleriyle çelişen bir dizi ödünleşme ile dolu pek çok mühendislik hedefi bulunmakta, bu hedefler ise genellikle eniyileme yöntemleri ile çözüme kavuşturulmaya çalışılmaktadır. Örneğin kontrol algoritmalarında kullanılan parametrelerin değerlerinin az miktarda artışı ile kontrol sisteminin anlık akım isterleri pratik olamayacak kadar yüksek çıkabilmekte, değerlerin az miktarda azaltılması ile de elektrik motoru sürücü elektronik kompleksinin sınırlarının işlendiği gerçekçi bir simülasyonda küçük kararlı durum hataları, sistem tepkisinde aşım ve salınım hatalarına sebep olabilmektedir [55]. Bu sorunun çözümü için ise akım limitinin artırılması gibi bir dizi değişikliğe ve tasarım iterasyonlarına sebep olabilecek kararlar alınması gerekebilecektir. Bu iterasyonlar sırasında KTS'nin sürücü elektronik komplelerinin boyutu ve ağırlığı, soğutma çözümü ile ilgili ödünleşmelerin çözülmesi ihtiyacı ortaya çıkacaktır. GS gibi belirsizliklerin fazla ve bozucu etkenlerin çok çeşitli olan bir platformda doğrusal olmayan dinamiklerin kontrolü ise muhtelif kontrol yaklaşımlarının bir arada kullanılmasını gerektiren ve genelde algoritmanın karmaşıklığına göre ölçeklenebilirliği kısıtlı olan donanımlara ihtiyaç duymaktadır [54, 2]. Örneğin dengeleme algoritmalarını koşturan akıllı birimin kapasitesinin yüksek performanslı bir algoritma için yetersiz kaldığına kanaat getirilmesi ile yeni bir platforma geçiş ihtiyacı tamamen yeni bir serimde bir sürücü kartının tasarlanmasını zorunlu kılabilir.

ELEKTROMEKANİK KONTROL TAHRİK SİSTEMLERİ



Şekil 3.1. KTS şeması

ELEKTROMEKANİK GİMBAL SİSTEMLERİ



Şekil 3.2. Gimbal şeması

3.2. Bir Vaka Örneği Olarak EKS Geliştirme Süreci Senaryosu

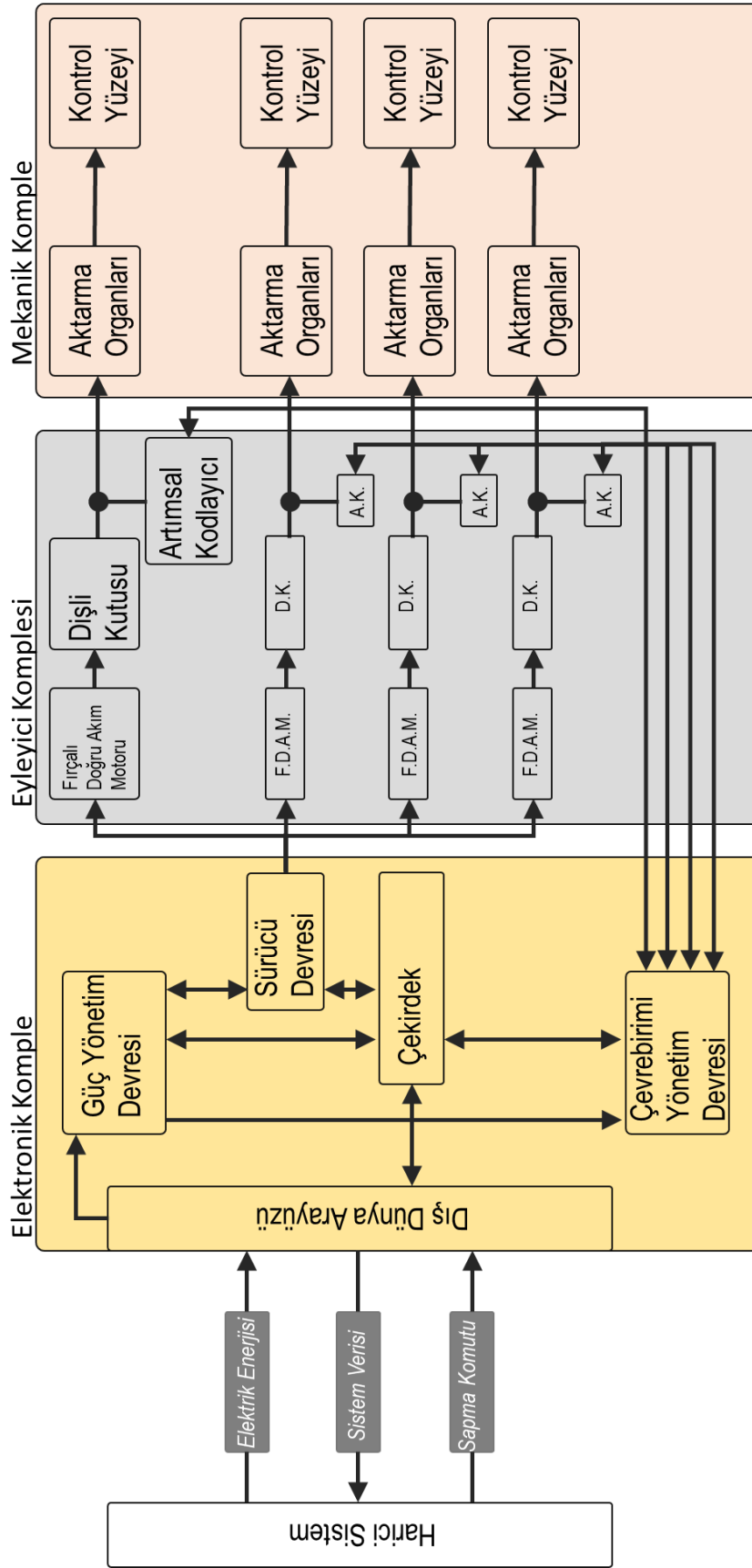
Bu kısımda da gereksinimlerinde ve hedeflerinde belirsizlikler bulunan bir EKS'nin eyleyici kontrol elektroniğinin (EKE) geliştirilmesi sırasında ortaya çıkan bazı kullanım durumları ve bu kullanım durumlarına tasarım ekibinin yaklaşımları örneklendirilerek incelenmiştir.

Senaryoya göre henüz sistem seviyesinde tasarımı sürdürülen taktik bir üründe kullanılması planlanan bir EKS'nin gereksinimleri tasarım ekibine iletilmiştir. Bu gereksinimlere göre;

- EKS 4 adet kontrol yüzeyinin pozisyonlarını aynı anda kontrol edecektir.
- Her kontrol yüzeyi ayırık mekanizmalara bağlı birer fırçalı doğru akım motoru (DAM) ile tahrik alacaktır.
- Kontrol algoritması her bir motor için pozisyon, hız ve akım kontrol döngüleri barındıracak, bu sebeple motorlara beslenen faz akım bilgisi ve şaft pozisyon bilgisi arttırımsal kodlayıcılar ile toplanacaktır.
- Akıllı birimin çekirdeğinin karmaşık kontrol algoritmasını barındırabilecek sinyal işlemleri olması gerekmektedir.
- Ana sistem ile platform arasında komutların aktarımı ve sistem sağlığına dair bilgilerin alınabilmesi için birer adet half-duplex RS485 haberleşme bağlantısı bulunacaktır.
- EKS enerjisini ana sistemden bir güç hattı ile alacaktır. Güç hattının kapasite limitleri ile beraber EKS'nin kontrolcü performans kriterleri belirlenmiş, fakat bir tasarım çözümüne kavuşturulması için yeterince netleştirilememiştir.

Gereksinimler göz önünde bulundurulduğu zaman EKS'nin blok şeması Şekil 3.3'teki gibi ortaya çıkmaktadır.

ÖRNEK EKS'NİN SİSTEM MODELİ



Şekil 3.3. Örnek EKS şeması

Tasarım ekibinin kontrol algoritmaları üzerinde çalışmaya başlayabilmesi için motor alternatiflerini değerlendirerek bir seçim yapması ve çevre elemanı sürücü yazılımı kütüphanelerinin oluşturulabilmesi için ihtiyaç duyulan işlevleri yerine getirebilecek öncül bir donanım prototipi üzerinde çalışması gerekmektedir.

Tasarım ekibi, hali hazırda kullanımdaki benzer yeterliliklere sahip olan ve tek bir FDAM sürmek için tasarlanmış bir kontrol elektroniğini (FKE), yazılım ve bellek değişiklikleri ile öncül tasarımlarda ve enstrumantasyonda kullanma kararı alır. Böylelikle teknik gereksinimlerin netleştirilmesi için ilerleme kaydedilmiş ve süre kazanılmış olacak, fakat mevcut platformu kullanıma hazırlamak için ek olarak hem mühendis hem de teknisyen işçiliği harcanacak ve sert çevresel koşullarda taktik kullanım için tasarlanmış yüksek maliyetli bir ürünü laboratuvar ortamındaki deneysel hatalara maruz kalma riski alınacaktır. Çizelge 3.1’de tasarım ekibinin karşılaştığı kullanım durumları listelenmektedir.

Çizelge 3.1. Kullanım durumları ve açıklamaları

No	Kullanım Durumu Açıklaması
1	DAM alternatiflerinin karakterizasyonu için bir enstrumantasyon platformuna ihtiyaç duyulmaktadır. Motorların karakterizasyonunun yapılabilmesi için motorların serbest ve yük altında iken sürülürken pozisyon ve akım bilgilerinin harici bir test sistemine aktarılması gerekmektedir. Harici test sistemi sayısal ve analog bağlantı arayüzlerine sahip olmakla beraber, sürücü elektronikleri bulunmamakta ve sayısal arayüzlerinin gerilim aralıklarının da kodlayıcılara uygun olmadığı gözlemlenmektedir. Tasarım ekibi FKE için test yazılımı geliştirerek, harici test sisteminden (HTS) FKE’ye komut gönderip veri toplayarak mevcut platformu modifikasyonlarla kullanmaya karar verir.
2	Faz içi akım okuma devresinin tasarımı için alternatif ticari raf ürünü (COTS) entegre devre çözümleri denenecek ve performans ölçümü yapılacaktır. Tasarım ekibi her bir alternatif için HTS ile uyumlu sayısal arayüzlere sahip hızlı prototiplenebilir bir baskı devre kartı tasarımı yapmaya karar verir. FKE ile FDAM arasına geçici bir arayüz ile bağlanan kartlar üzerinden HTS ile veri toplanarak, laboratuvar ekipmanı ile ölçülen değerler ile karşılaştırılacaktır.

Çizelge 3.1. (devam) Kullanım durumları ve açıklamaları

3	Kullanım durumu 2 için geliştirilen prototip baskı devre kartlarının iki katmanlı basit yapısının, galvanik izolasyona ek olarak geometrik izolasyonun yeterince iyi yapılmasına müsaade etmemesinden ötürü analog işaretlerde gürültü seviyesinin yüksek olduğu düşünülmektedir. Kablolardan oluşan geçici arayüzün de işaret bütünlüğüne olumsuz etkide bulunduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple tasarım ekibi çok katmanlı bir baskı devre kartı tasarlayarak üretim sağlayacaktır. Harici olması gereken bu üretim, tasarım ekibinin akım okunması ile ilgili enstrumantasyon sürecinin birkaç hafta ötelenmesine sebep olacaktır.
4	Özel bir FDAM için eniyilenmiş olan FKE, beklenen hareket profili dışında kalan bir profil ile bir DAM'ı açık döngü kontrol etmektedir. DAM anlık akım tepmesinin karakterizasyonu için yapılan yön değiştirme testleri sırasında güç elemanlarında tahribat meydana gelmiştir. Tahrip olan güç elemanları, güç çevrim elemanlarının da aşırı yüklenmesine sebep olarak pek çok elemanda zincirleme tahribata yol açtığından FKE kullanılamaz hale gelmiştir.
5	Kontrol algoritmasının karmaşıklaşmasına sebep olan bir dizi yeni gereksinimin gerçekleştirilmesi için, hazır çevre birimlerine sahip mikrodenetleyici yerine özel işlevsel çevresel birimlerin geliştirilmesine müsaade eden yapıdaki bir akıllı devre elamanının seçilmesi ve geliştirme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Tasarım ekibi, FPGA ve işlemci donanımlarının bir arada bulunduğu hibrit entegre çözümlerini denemek istemektedir. Bunun için bir deneme kartı veya özel bir taşıyıcı baskı devre kartının tasarlanması gerekmektedir.
6	Geliştirme sürecinde paralel bir iş kolu olarak, minyatür eyleyicilerin enstrumantasyonu için HTS ile uyumlu bir sürücü donanıma ihtiyaç duyulmuştur. HTS ile haberleşebilen bir Piezoelektrik eyleyiciler için bir sürücü elektroniği kompleksi tasarlanacaktır.
7	Geliştirme sürecinde paralel bir iş kolu olarak, RF mesafe ölçümü HTS ile uyumlu bir donanıma ihtiyaç duyulmuştur. Gömülü bir sistem olan FKE'nin akıllı birimi ile HTS'nin arayüzü sağlanarak, akıllı birim ile uyumlu anten ve mikrodalga devre donanımı tasarlanacaktır.

Kullanım durumlarından da gözlemlenebileceği gibi, bir kontrol sistemleri araştırma ve geliştirme laboratuvarında hem belirsiz proje gereksinimleri ve hedeflerinin netleştirilmesi için gereken verinin hem de farklı disiplinlerden mühendislerin geliştirdiği fikirlerin hayata geçmesi için ihtiyaç duyulan verinin toplanması gerekebilmektedir. Bu verilerin hızla ve doğru olarak elde edilebilmesi için çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahip muhtelif yöntemler bulunmaktadır. Üç ana yaklaşım her bir enstrumantasyon işlemi için şu şekilde

sıralanabilir: özel laboratuvar ekipmanlarının ya da özelleşmiş ekipman platformlarının tedariki, özgün bir test prototipi geliştirilmesi ve uyumlu bir test sisteminin kullanılması.

Özel laboratuvar ekipmanlarının ya da özelleşmiş ticari ekipman platformlarının tedariki ile bir enstrumantasyon düzeneği kurulması durumunda yüksek performansa ve uygulamaya yardımcı profesyonel desteğe karşın yüksek maliyetler ve uyumlandırma sorunları ile karşı karşıya kalılabilmektedir. Enstrumantasyonun gerçekleştiği konfigürasyonun taktik ürüne dönüştürülmesi esnasında ise hazır ürünlerin kullanımı yine bir dezavantaj haline gelebilmektedir. Nitekim Çizelge 3.1’de örneklendirilen durumlarda olduğu gibi EKE’de kullanılması değerlendirilen devre elemanları ya da topolojileri de enstrumantasyonun öznesi haline gelebilmektedir.

Söz konusu öznelerin EKE’nin nihai konfigürasyonundaki performansının ölçülmesi için ideal olanın, o konfigürasyonun gerçekleştirildiği özgün bir test prototipi geliştirilmesi olduğu söylenebilir. Fakat hassas ve alıngan topolojiler gibi EKE’nin kısmi işlevleri için bütün sistemin üretilmesi çoğunlukla maliyet, işçilik ve zaman kısıtlarından ötürü mümkün olmamaktadır. Bu sebeple de harici test sistemleri ile enstrumantasyonu yapılan bu topolojilerin donanım bağımlı karakteristikleri gerçekçi olarak gözlemlenememektedir.

Taktik kullanım için tasarlanmış bir EKS’nin kritik bir ögesi olan FKE’nin senaryoda örneklendirildiği gibi ihtiyaçlara uyumlandırılarak enstrumantasyon amaçlı kullanılması da mümkündür. Diğer iki yolun adeta orta noktasındaki bir çözüm olarak değerlendirilebilecek bu yöntem hem hazır ürün kullanmanın avantajlarını hem de uyumlandırılabilirliğin avantajlarını taşımaktadır. Bir mekatronik laboratuvarında kullanılan güç elektroniği, gömülü kontrol sistemi, algılayıcı arayüzü ve haberleşme arayüzü barındıran bir EKE, belirli bir motor tasarımını veya hazır motor ürününün performansını test etmek; farklı yapay zekâ tekniklerinin tork kontrolü üzerindeki etkilerini karşılaştırmak; farklı prensiple çalışan şaft pozisyon algılayıcılarının kontrolcü performansına olan etkisini ölçmek gibi çok farklı amaçlarla çok kısa sürede kullanılabilir hale getirilebilmektedir. Fakat bu tip durumlar söz konusu olduğunda mikrodenetleyici, anahtarlama elemanı veya işaret hattı sürücüsü vb. en az bir devre elemanın değiştirilmesini içeren bir donanım değişikliği gerekebilmektedir. Bu da ya deneysel devre panosu (*breadboard*) gibi bir platformda çalışılmasını veya dizgisini veya uzay lehim gibi güvenilirlik sorunları çıkaran yöntemlerle modifikasyonunu; ya da elemanları barındıran

baskı devre kartının yeniden çizimini ve gerektirmektedir. Yine de hazır ürünlere kıyasla söz konusu risklerin ve katma değer çıkarmayan bu maliyetlerin göze alınarak eldeki hazır bir FKE ile geliştirme sürecine devam etmek, güvenilirlik ve ölçüm kalitesi gibi konularda risk oluşturmalarına rağmen tasarım ekibi için çoğunlukla zaman ve maliyet açısından daha tercih edilir durumda olabilecektir.

3.3. Emniyet Kritik EKS'lerin Geliştirilmesinde Geleneksel Süreç Yönetimi ve Tasarımda Çeviklik İhtiyacı

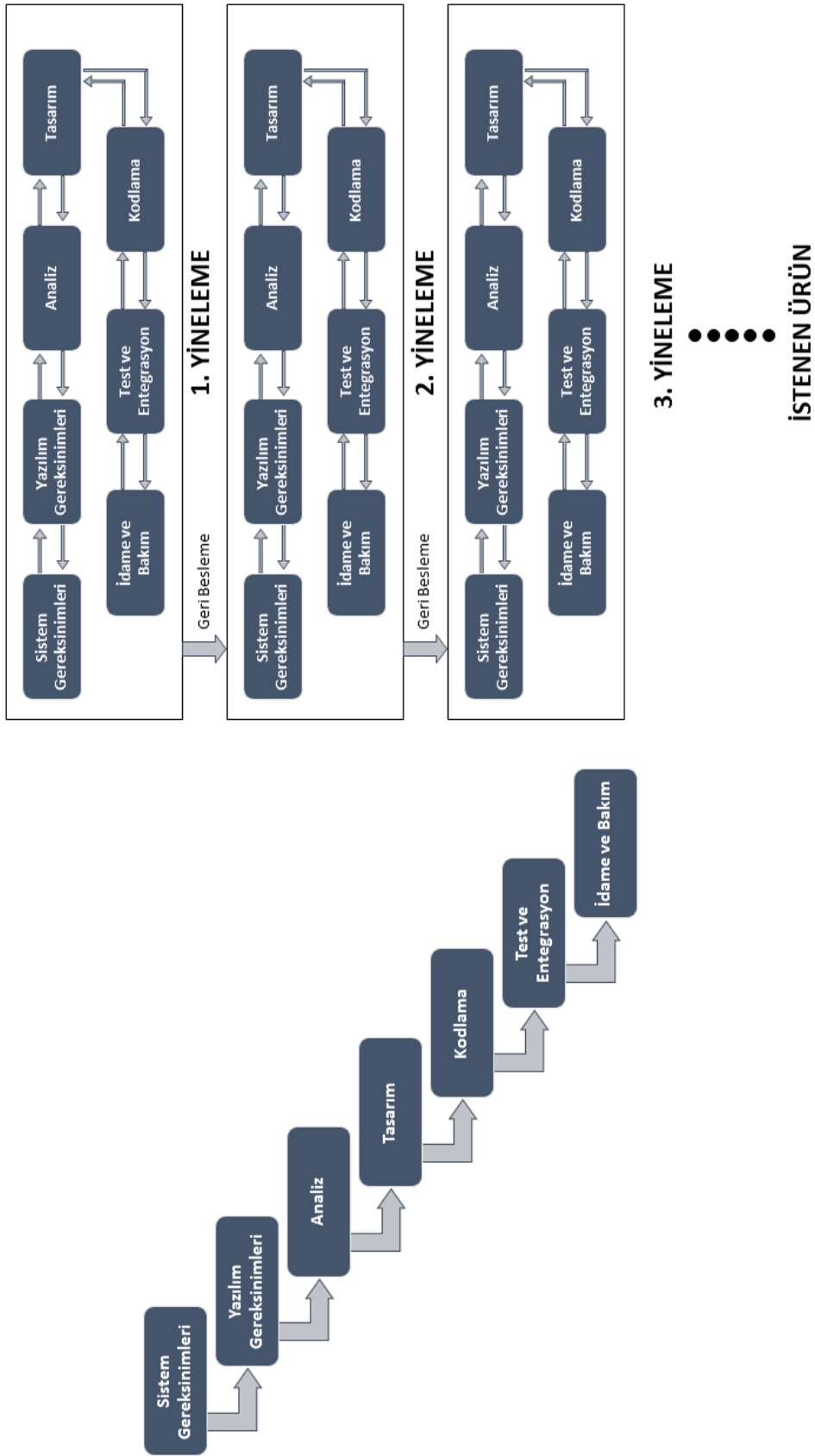
EKS Geliştirme Süreci Senaryosunda değinilen enstrumantasyon işlemleri için her üç yaklaşım için de gereksinimlere mümkün olduğunca cevap verebilecek şekilde hazırlanmış bir altyapıda bile mevcut altyapının az bir farkla da olsa uyumlandırılarak kullanılması istendiğinde çözülmesi gereken basit donanım veya yazılım uyumsuzluklarını giderilmesi fazla maliyetli olabilmektedir. Bu maliyet kendisini zaman kaybı (işçilik maliyeti) şeklinde dolaylı olarak veya malzeme maliyeti şeklinde direkt olarak gösterebilmektedir. Bu uyumlandırma ise özenli ve kapsamlı bir yaklaşımla yapılsa dahi özel tasarım amacının dışında kullanılmaya çalışılan bu araçlara zarar verebilmektedir. Yenilikçi özellikler taşınması beklenen, belirsiz gereksinimler ve bulanık hedefler ile tanımlanmış bir EKS'nin öncül prototipinin geliştirilmesi sürecinde, özellikle deneysel laboratuvar çalışmalarında ortaya çıkan farklı ihtiyaçlar için tamamen farklı özelliklere sahip farklı donanımlara, farklı arayüzlere, farklı yazılımlara gereksinim duyulabilmektedir. Teknik olarak ilerleme kaydedildikçe hem nitel hem de nicel değişikliklere maruz kalan bu gereksinimler iterasyonların sıklığının artmasına sebep olabilmektedir. Bu da göstermektedir ki emniyet kritik sistemlerde de iterasyonların sık ve uyumlandırmanın maliyetli olduğu durumlarda ani değişimlere uyumu kolaylaştıran ve iterasyonların hızlı kapatılmasını sağlayacak yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Benzer sorunları yaşayan yazılım mühendisliği projeleri için de ele alınan “çevik yöntemler” alternatif bir yaklaşım konumundadır. Örneğin yazılım mühendisliği projelerinin “projelere özgü durumlara uygun yöntem seçimi konusunda rehberlik yapmak” amacıyla 2017 tarihli çalışmalarında Gencer ve Kayacan, yazılım proje yönetiminde Şelale modeli ile çevik yöntemleri karşılaştırmışlardır [9]. Çalışmalarında öncelikle yazılım proje yönetiminde sırasıyla şelale modeli ve çevik yöntemler ile ilgili bilgi vermişler, ardından benzerlik ve farklarını ortaya koyarak uygulamaya özel durumları

göz önünde bulundurarak karşılaştırmışlardır. Şelale yönteminin “yazılım mühendisliğinin en eski ve temel modeli” olduğunu belirterek, hemen hemen bütün büyük organizasyon tarafından genel kabul görmüşlüğüne dikkat çekerek yazılım geliştirme projeleri için de en temel metotlardan birisi olduğuna değinmişlerdir. Günümüzde ise bu yazılım mühendisliğinde geleneksel yaklaşımın büyük çoğunlukla yerini çevik yöntemlere bırakmakta olduğunu, 2010 yılından itibaren de Türkiye’de ciddi bir yükseliş gösterdiğini belirtmişlerdir. Çevikliğin bir plana ve dokümantasyon angaryasına sıkı sıkıya bağlı kalan değil, tam tersine değişimleri kucaklayan bir felsefeye sahip olduğu ve çalışan yazılımın sürdürülebilir bir süreç ile erken ortaya çıkarılması gerektiğini savunduğu aktarılmıştır (Şekil 3.4). Yazarlar Şelale modelinin net olarak tanımlanmış bir düzenin avantajından faydalanarak yüksek güvenilirlik gerektiren savunma sistemleri ve gömülü sistemleri için daha uygun olacağını belirtmişlerdir. Fakat “çevik yöntemlerin gereksinimlerin ve hedeflerin belirsiz ve bilinmez olduğu, değişikliğin sık, değer üretiminin kısa vadede arzu edildiği projeler için daha uygun olacağı” sonucuna ulaşmışlardır. Nitekim söz konusu süreçlerin “düzenden çok yaratıcılık yaklaşımı gerektirdiğinin” altını çizmişlerdir.

Fernandez ve Fernandez’in, çevik proje yönetim anlayışını geleneksel yöntemlerle karşılaştırdığı 2008 tarihli çalışması da, özellikle yazılım mühendisliği projelerinde tanınır olan çevik anlayışın diğer disiplinlerde de kullanılabileceğini belirtmektedir [57]. Çevik yaklaşımın çeşitli yöntemlerini açıklayan ve özetleyen yazarlar, özellikle hedeflerin ve çözümlerin bulanık olduğu durumlarda hızlı tepki vererek uyum sağlamayı mümkün kılan bu yaklaşımın kullanımını önermektedirler.

Çevik yaklaşım ile yönetilen yazılım projelerindeki hata etkilerini araştıran Özyay ise, 2018 tarihli çalışmasında beş ana etken grubunu teşhis etmiştir [58]: organizasyon, personel, süreç, teknik, ürün. Yazarın elde ettiği sonuçlar bu çalışma kapsamında ele alınan çevikleşme ihtiyacı ile çelişen bir duruma işaret etmemekle beraber, çevik proje yönetim anlayışının toplu olarak benimsenmesi durumunda göz önünde bulundurulması gerekebilecek analizleri barındırdığı değerlendirilmektedir.



Şekil 3.4. Şelale ve Çevik Yaklaşımın Karşılaştırılması

Mühimmatlar gibi emniyet kritik teknolojiler üzerinde çalışılan savunma sanayi gibi sektörlerde plan tabanlı geleneksel süreç yönetimi yaklaşımlarının hâkimiyetinde, mükemmeliyet hedefiyle uzun ve titiz çalışma prosedürleri yürütülmektedir. Şelale modeli olarak da tanımlanan ve ana sürecin alt süreçlerinde de gözlemlenen bu süreç yönetimi modelinin ise zaman zaman düşük risk garantisi karşılığında yaratıcılığa adeta ket vuran bir konuma taşınmaktadır. Özellikle teknolojik hazırlık seviyesi düşük olan sistemlerin geliştirilme sürecinde, belirsiz gereksinimler ve bulanık hedefler söz konusu olmakta, şelale modelinin gözettiği düzen sarsılmakta ve zaman zaman iş yükünü arttırmaktadır. Bu sebeple yenilikçi özellikler taşıması beklenen, belirsiz gereksinimler ve bulanık hedefler ile tanımlanmış bir EKS'nin geliştirilmesi sürecinde çevik yaklaşım bir çözüm olarak değerlendirilebilir.

EKS'nin çevik yaklaşımla geliştirilmesi için geliştirme iterasyonlarının düşük maliyetli ve hızlı olması gerekmektedir. EKS'nin en sık iterasyona ihtiyaç duyan ve iterasyonun yoğunlukla yaratıcı zihin işçiliğine dayandığı EKE'de hem fiziksel üretimin kontrol edilemeyen süresi hem de küçük parametre değişimlerinin bile zincirleme gereksinim değişikliklerine sebep olabilmesi söz konusudur. Bu sebeple EKS'nin geliştirme sürecinin çevikleşebilmesindeki dar boğazlardan birisi EKE'nin geliştirme sürecinin çevikleşebilmesidir. Bunun için de vaka örneğinde görüldüğü gibi taktik kullanımda olan FKE benzeri bir yapının bu tip çalışmalarda kullanılması için deneysel laboratuvar çalışmalarına uygun hale getirilmesi, ani gelişen gereksinim değişikliklerine düşük maliyetle ve hızla uyum sağlayan bir mühendislik çözümünün geliştirilmesinin bir çözüm olarak değerlendirilebileceği anlaşılmaktadır.

4. TRIZ TEKNİKLERİNİN EKE'YE UYGULANMASI

Mühimmatların kritik alt sistemlerinden elektromekanik kontrol sistemleri (EKS) gibi disiplinlerarası iş birliği ve yüksek işgücüyle geliştirilen karmaşık mühendislik çözümleri, Bölüm 3'te anlatıldığı gibi bulanık gereksinimler ve hedefler söz konusu olduğunda geliştirme aşamasının çevikleştirilmesine ihtiyaç duymaktadır. EKS'yi oluşturan komplelerden geliştirilmesi sırasında yaratıcı zihin eylemlerinin yoğun olarak harcandığı eyleyici kontrol elektronikleri (EKE), kökeninde teknik ve fiziksel çelişkiler yatan ve ödünleşmeler ile çözülmesi zor olan pek çok sorunu bünyelerinde barındırmaktadır. Bölüm 2'de ana hatlarıyla aktarılan TRIZ teknikleri de bu tip yaratıcı nitelikteki problemlerin sistematik bir yaklaşımla buluşçu çözümlere kavuşturulmasını hedeflemektedir. Bu bölümde ise TRIZ araçlarının sistematik olarak uygulanması için geliştirilmiş derleyici nitelikteki bir TRIZ aracı olan ve ardışık adımlardan meydana getirilmiş bir algoritma olan ARIZ'in, EKE'ye uygulanması anlatılmaktadır.

ARIZ'in ana akışı şu şekilde özetlenebilmektedir: İlk olarak çeşitli teknik sistemlerin dâhil olduğu bir yaratıcı durumun tanımlanması ile işe başlanmalı, ardından da bu yaratıcı durum, sadece bir teknik sistemin seçilmesiyle yaratıcı bir problem haline getirilmelidir. Elde edilen yaratıcı problemin sadece birbiri ile etkileşen iki elemanından oluşan bir kısmına odaklanılarak problemin modeli elde edilmelidir. Bu iki elemandan hangisine ve çalışma ortamına müdahale edileceği seçilerek, kök neden teşhis edilmelidir. Böylelikle sorunun kökenindeki teknik çelişki ve ardından fiziksel çelişki teşhis edilmesi ile analiz tamamlanmaktadır [50:117]. Daha sonra uygun TRIZ aracı ile sorun çözüme kavuşturabilmektedir. ARIZ'in öncül sürümleri için tanımlanmış olan bu akış, geçerliliği kabul görmüş son sürüm olan ARIZ85-C için de geçerliliğini korumaktadır. Bölümün geri kalan kısmında ARIZ-85C'nin adım adım uygulanması anlatılacaktır.

ARIZ85-C.1. Problemin Analizi

EKS'lerin ortaya çıkmasına sebep olan mühendislik ihtiyaçlarını karşılayan işlevler, herhangi bir mühendislik ürününü ortaya çıkaran işlev odaklı yaklaşımda olduğu gibi özel bir tasarım veya teknoloji ile tanımlanmamalıdır. Nitekim, bir ihtiyaçtan türetilen işlevlerin yerine getirilmesini sağlayan sadece birer gerçekleştirme aracı olan özel teknolojiler ya da

tasarımlar, sorunu genelleştirerek evrensel çözümlerden faydalanmayı hedefleyen TRIZ metodolojisi kapsamında anlamsızlaşmaktadır. TRIZ tekniklerinin özünde yatan bu ihtiyaç odaklı bakış açısının bir EKE'ye uygulanabilmesi için de öncelikle sistemin teknik amacının, değişiklikler kısıtlarının, kabul edilebilir harcama hedefinin, iyileştirilmesi gereken ana teknik ve ekonomik özelliklerinin ortaya konması gerekmektedir. Böylelikle değiştirilecek, dokunulmayacak, kaldırılacak ya da iyileştirilecek işlevlerin tespiti için analiz süreci başlamış olacaktır. EKE için söz konusu hedef çerçeve şu şekilde çizilebilir:

- Teknik Amaç: Hali hazırda kullanımdaki 4 DAM süren bir EKE'nin uyumlandırılabilirliğini yükselterek EKS'nin geliştirme sürecini çevikleştirmek.
- Değişiklik Kısıtı: Son üründe kullanılması mümkün olmayan bir devre elemanı veya seri üretime hazır olmayan bir teknoloji kullanılamayacaktır.
- Kabul edilebilir harcama: Enstrumantasyon platformunun geliştirilmesi için harcanan işçilik, başka bir EKE geliştirme işçiliğinden daha fazla olmamalıdır.
- İyileştirilmesi gereken ana teknik ve ekonomik özellikler: EKE içerisindeki veya komşu sistemlerdeki değişikliklere uyum sağlayan bir sistem çözümünün ortaya çıkma süresini kısaltmak ve maliyetini azaltmak.

ARIZ85-C.1.1. Mini problemin formüle edilmesi

TRIZ metodolojisine göre bütün sistemler maddeler, alanlar veya bunların kombinasyonlarından meydana gelmekle beraber, kütlesi olan sistem elemanları “madde” olarak tanımlanırken kütlesi olmayan ve maddeler arasındaki etkileşimi sağlayan sistem elemanları “alan” olarak tanımlanabilmektedir. Sistemi oluşturan elemanların sayısı ve özelliklerinin detayı ise ne TRIZ araçlarının uygulanmasını çok zorlaştıracak kadar fazla, ne de soyutluktan ötürü analizi anlamsızlaştıracak kadar az olmalıdır. Bu sebeple belirli bir sistem hiyerarşisi disiplini ile sistem elemanları belirlenmelidir. Sistemin elemanları belirlendikten sonra ise, bu elemanlarla direkt olarak etkileşime giren veya etkileşime girmeyen ama yakınında bulunan ve faydalanılabilecek “Üst-Sistem (*Supersystem*)” elemanları tespit edilmelidir. Üst-sistemin en önemli elemanı ise, sistemin varoluş amacını oluşturan ana işlevinin nesnesi olan “hedef” olarak tanımlanmaktadır. Söz konusu bu kurallar göz önünde bulundurulduğunda EKE'nin detaylı eleman modeli Çizelge 4.1'deki gibi ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.1. Eleman modeli

Sistem	Sistem Elemanları	Üst-Sistem Elemanları
Eyleyici Kontrol Elektroniği	Elektronik Devre Kartı	Komuta Bilgisayarı
	Devre Elemanları	Güç Birimi
	Koruyucu Kaplama	Mekanik Komple
	Yapıştırıcı	Eyleyici (Hedef)
	Lehim	Pozisyon Algılayıcılar
	Mekanik Bağlantı Elemanları	Ataletsel Algılayıcılar
	Konektörler	Elektromanyetik ortam gürültüsü
	Kablajlar	Atmosfer
	Yazılım	Algoritma

Mini problemin formüle edilmesi için sistemin, teknik çelişkilerin ve kısıtların tanımlı yapıldığında Çizelge 4.2’deki problem modeli ortaya çıkmaktadır.

Tablodan da görülebileceği sistemin eleman sayısının ve etkileşimlerden doğan teknik çelişkilerin fazla olması, problemin tanımlanmasını güçleştirmektedir. Bu sebeple modelin EKE’nin uyumlandırılmasının altında yatan ana engele ve bu engel ile etkileşime giren elemanlara indirgenmesi gerekmektedir. Sistem elemanlarındaki köklü değişimler sebebiyle bariz bir şekilde yapılması gereken uyumlandırmanın, bu elemanların karakteristik parametrelerinde (anma gücü, anlık akım değeri, sayısal işaret arayüzü vb.) ortaya çıkan değişimlerde de yapılması gerektiği görülmektedir.

Çizelge 4.2. Problem modeli

Sistemin Tanımı	<Elektromekanik sistemlerin enstrumantasyonu için> kullanılan teknik sistem, <Elektronik Devre Kartı, Devre Elemanları, Koruyucu Kaplama, Yapıştırıcı, Lehim, Mekanik Bağlantı Elemanları, Konektörler, Kablajlar, Algoritma, Yazılım> elemanlarından oluşmaktadır.
Teknik Çelişkilerin Tanımı	<u>TC1</u>: Eğer BDK tasarımında alternatif devre elemanlarına uygun ek layout/routing ayrılırsa, o zaman BDK devre elemanları değişikliklerine uyumlu hale gelmekte, fakat BDK'nın iç yapısının karmaşıklığı arttığı için üretimi zorlaşmaktadır. <u>TC2</u>: Eğer BDK tasarımında alternatif devre elemanlarına uygun ek layout/routing yapılırsa, o zaman BDK devre elemanları değişikliklerine uyumlu hale gelmekte, fakat BDK'da atıl alan ortaya çıkmaktadır. <u>TC3</u>: Eğer BDK değiştirilse, o zaman alternatif devre elemanları kullanılabilmekte, fakat bütün kartın üretimi için ek maliyet çıkmaktadır. <u>TC4</u>: Eğer BDK değiştirilse, o zaman alternatif devre elemanları kullanılabilmekte, fakat kartın üretimi sağlanıncaya kadar çalışmalar durmaktadır. <u>TC5</u>: Eğer alternatif devre elemanları uzay lehim ile BDK'ya tutturulursa, o zaman BDK devre elemanları değişikliklerine uyumlu hale gelmekte, fakat teknik sistemin kullanımı sırasında kısa devreler veya kopmalar meydana gelebilmektedir <u>TC6</u>: Eğer alternatif devre elemanları uzay lehim ile BDK'ya tutturulursa, o zaman BDK devre elemanları değişikliklerine uyumlu hale gelmekte, fakat ölçüm kalitesi düşmektedir. <u>TC7</u>: Eğer enstrumantasyon için prototip kartı geliştirilirse, o zaman çeşitli karakterizasyon çalışmaları mümkün olmakta, fakat ek kablay üretilmesi gerekmektedir. <u>TC8</u>: Eğer enstrumantasyon için tekil prototip kartı geliştirilirse, o zaman çeşitli karakterizasyon çalışmaları mümkün olmakta, fakat HTS'de yazılım geliştirilmesi gerekmektedir. <u>TC9</u>: Eğer EKE'nin akıllı devre elemanı sökülerek yerine HTS kullanılarak sürücü birimi olarak kullanılırsa, o zaman çeşitli karakterizasyon çalışmaları mümkün olmakta, fakat HTS'de yazılım geliştirilmesi gerekmektedir. <u>TC10</u>: Eğer teknik sistemin güvenli çalışma sınırları üzerinde çalışılırsa, o zaman eyleyici karakterizasyon testlerinin hızlıca gerçekleştirilmesi mümkün olmakta, fakat hata durumunda bütün teknik sistem zarar görerek işlemez hale gelmektedir.
Değişiklik Kısıtlarının Tanımı	Sistemde asgari değişiklik yapılarak <Son üründe kullanılması mümkün olan devre elemanları ve seri üretime hazır teknolojiler kullanılması> zorunludur.

Çözüm yaklaşımlarından doğan çelişkilerin tiplerine göz atıldığı zaman, üst-sistem elemanlarındaki herhangi bir değişiklik, genellikle devre elemanlarında, devre yollarında ve bunun sonucunda da baskı devre kartında değişimlere sebep olmaktadır. Bu değişim, uzay lehim gibi yöntemlerle BDK içinden BDK üzerine aktarılabilceği gibi, harici bir BDK'nın tasarlanması ile BDK dışına da aktarılabilir. Buradan yola çıkarak enstrumantasyon odaklı bir bakış açısı ele alındığında, mini problemi oluşturacak olan

sistem ve üst sistem elemanlarının tanımlanmasında birbirleri ile yüksek etkileşimli elemanların bir araya toplanarak sadeleşme sağlanabilecektir. Bu sebeple zincirleme değişimin tetiklendiği söz konusu EKE sistem elemanları olarak tanımlanan elektronik devre kartı, devre elemanları, koruyucu kaplama, yapıştırıcı, lehim, mekanik bağlantı elemanları, konektörler ve kablajların Baskı Devre Kart Komplexi elemanı altında birleştirilmesi gerektiği sonucuna varılabilmektedir. Uyumlandırmanın niteliğini değiştirmeyen algılayıcı tipi de Algılayıcılar elemanı altında birleştirilebilecektir. Taktik bir ürün olan bir EKE'nin çalışma ortamında etkisi bulunan atmosfer ve Elektromanyetik ortam gürültüsü ise, madde-alan tanımlamaları kapsamında kontrollü laboratuvar ortamında olan bir teknik sistem için yeterli bir etkileşime sahip olmadığı değerlendirilerek üst-sistem elemanlarından çıkarılabilecektir.

EKS'nin "hedef" olarak tanımladığı üst sistem elemanı olan eyleyici ise, enstrumantasyon odaklı bir bakış açısı ele alındığında hedeflerden birisi konumuna gelmektedir. Nitekim EKS'nin elemanları da enstrumantasyonun hedefi olabileceği gibi herhangi bir üst sistem elemanı da hedef olarak tespit edilebilir bir konuma yerleşmektedir. Bölüm 3'te örneklendirilen kullanım durumlarında olduğu gibi, algoritma, algılayıcılar, eyleyici ya da EKE elemanları da performans ve karakterizasyon ölçümlerinin odağı olabilmektedir. Buradan yola çıkarak da teknik sistemin üst sistem değişikliklerine uyumlandırılmasının gerekliliğinin aslında hedef elemanın **veri** olması gerektiği sonucuna varılmaktadır.

İndirgenmiş sistem elemanları (Çizelge 4.3) göz önünde bulundurularak mini problem yeniden formüle edildiğinde sistemin, teknik çelişkilerin ve kısıtların tanımı yapıldığında Çizelge 4.4'teki problem modeli ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.3. Güncellenmiş eleman modeli

Sistem	Sistem Elemanları	Üst-Sistem Elemanları
Enstrumantasyon için Teknik Sistem	Baskı Devre Kart Komplexi Yazılım	Komuta Bilgisayarı Algoritma Eyleyici Algılayıcılar Veri (Hedef)

Çizelge 4.4. Güncellenmiş problem modeli

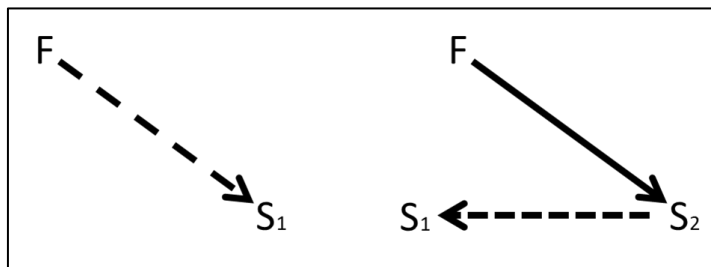
Sistemin Tanımı	<Elektromekanik sistemlerin enstrumantasyonu için> kullanılan teknik sistem, <baskı devre kart kompleksi ve yazılım> elemanlarından oluşmaktadır.
Teknik Çelişkilerin Tanımı	TÇ1: Eğer BDKK tasarımı çok değiştirilirse, o zaman üst-sistem elemanlarındaki değişiklik durumunda teknik sistem kullanımı kolaylaşmakta ve güvenilirliği artmaktadır, fakat kartların üretimi zorlaşmakta ve zaman almaktadır. TÇ2: Eğer BDKK tasarımı az değiştirilirse, o zaman üst-sistem elemanlarındaki değişikliklere teknik sistem hızla ve basitçe uyumlu hale gelmekte, fakat teknik sistemin kullanımı zorlaşmakta ve ölçüm hataları artmaktadır.
Değişiklik Kısıtlarının Tanımı	Sistemde asgari değişiklik yapılarak < Son üründe kullanılması mümkün olan devre elemanları ve seri üretime hazır teknolojiler kullanılması> zorunludur.

ARIZ85-C.1.2. Çatışan Elemanların Tanımlanması

Teknik sistemin ve üst sistemin elemanları ile ortaya çıkan çelişki göz önünde bulundurulduğunda, “ürünün” veri, “aracın” ise BDKK tasarımı olduğu görülebilmektedir.

ARIZ85-C.1.3. Teknik çelişkiler için grafik modellerin tanımlanması

Tipik Grafik Modelleri tablosu kullanılarak, teknik sistem için tanımlanmış çelişkiler Şekil 4.1’deki gibi grafik modeller ile tanımlanmıştır. BDK’nın değişmesi olumsuz etki yaratmakta, bu değişiklik ihtiyacı bir X elemanına aktarılmalıdır.



Şekil 4.1. Teknik sistem için tanımlanmış çelişkiler

ARIZ85-C.1.4. İleri analiz çalışmaları için bir grafik model seçilmesi

Teknik sistemin ana çalışma süreci, değişen sistem ve üst sistem elemanlarına ait verilerin toplanması ile ilgilidir. Bu sebeple veri bütünlüğünün ve kullanım kolaylığının ön planda olsa da, teknik sistemin hedefi verinin hızla ve düşük maliyetli eldesi olmalıdır. Bu sebeple TÇ2 seçilmelidir.

ARIZ85-C.1.5. Çatışmanın yoğunlaştırılması

TÇ2 için BDKK tasarımında hiç değişiklik yapılmadan uyumlandırmanın sağlandığı düşünülmelidir.

ARIZ85-C.1.6. Problem modelinin tanımlanması

Problem modelinin formülasyonunda ihtiyaç duyulan üç unsur olan çatışan elemanlar, yoğunlaştırılmış çatışmanın tanımı ve problemin çözülmesi için gereken “x-elemanının” ne yapması gerektiği aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

BDKK tasarımında hiç müdahale yapılmadığı için, ihtiyacın olduğu anda ve maliyetsiz olarak uyumlandırmanın gerçekleştiği düşünülebilir. Fakat teknik sistemde yapılması gereken uyumlandırmanın BDKK içinden, tamamen BDKK üzerine veya dışına aktarılması söz konusu olduğundan artık yapılması gereken enstrumantasyon işleminin kalitesi düşmektedir. Bu sebeple bir X-elemanı ile teknik sistem bünyesinde uyumlandırmayı sağlarken işlemin kalitesini olumsuz etkilemeyen bir çözüm bulunmalıdır.

ARIZ85-C.1.7. Yaratıcı standartların uygulanması

Teknik sistemin çelişkiyi aşabilmesi için aranan çözümün yaratıcı standartlar tarafından karşılanıp karşılanamayacağını tespit etmek için, formüle edilen problemin 39 mühendislik parametresine indirgenmesi gerekmektedir. Problem modeline göre öncelikli olarak teknik sistemin iyileştirilmesi gereken özelliği belirgin bir biçimde “Uyumlandırılabilirlik ve çok yönlülük” olarak ortaya çıkmaktadır. Diğer özelliklerin tespiti için bir tarama yapıldığında problem modeli ile ilişkilendirilebilen tüm özellikler Çizelge 4.5’te listelenmiştir.

Çizelge 4.5. Mühendislik parametreleri ve tanımları

Mühendislik Parametresi	Tanımı
Uyumlandırılabilirlik ve Çok Yönlülük (Adaptability and Versatility)	Bir sistemin/nesnenin çalışma koşullarındaki değişikliklere olumlu tepki gösterebilmesi ya da çeşitli koşullar altında çeşitli şekillerde kullanılabilmesi olarak tanımlanmaktadır.
Ölçüm Doğruluğu (Measurement accuracy)	Bir sistem parametresinin ölçülen değerinin gereken değere yakınlığı. Ölçüm hatalarının azaltılması ölçüm doğruluğunu arttırmaktadır.
Veri Kaybı (Loss of information)	Sisteme giren ya da sistemin eriştiği bilgilerin, tam, kısmi, geçici ya da kalıcı olarak kaybıdır. Sıklıkla nesnelerin ölçümüyle ilgili verilerle ilişkilendirilir.
Güvenilirlik (Reliability)	Sistemin, istenen işlevleri öngörülen şekillerde, durumlarda, ihtiyaç duyulan süre boyunca gerçekleştirebilmesi olarak tanımlanmaktadır.
Zaman Kaybı (Loss of time)	Zaman kaybının iyileştirilmesi, ihtiyaç duyulan eylemin gerçekleştirilebilmesi için gereken zamanın azaltılması anlamına gelmektedir.
Hız (Speed)	Bir işlemin, sürecin, eylemin ya da hareketin zamana göre gerçekleşme oranıdır. Belirli bir zaman içerisinde bir nesnenin özelliklerindeki değişimi olarak da tanımlanabilmektedir.
Verimlilik (Productivity)	İşlevleri, süreçleri ya da ürünleri gerçekleştirmek için gereken süre, birim zamanda elde edilen çıktı ya da birim çıktı başına harcanan zaman olarak tanımlanabilmektedir.
Kullanılabilirlik (Ease of Operation)	Eğer bir süreç çok sayıda insan, işlem adımı, özel araç ya da ek bilgi gerektiriyorsa kullanılabilirlik düşüktür. Kullanılabilirliği yüksek olması, denetlenebilirliğin ve verimin yüksek olması anlamına gelmektedir.
Karmaşıklık (Device Complexity)	Elemanların ve elemanlar arası ilişkilerin sayısı ve çeşitliliği olarak tanımlanmaktadır. Karmaşık olarak nitelendirilen sistemlerin genellikle yediden fazla parçası ya da ilişkiye sahip olduğu belirtilmektedir.
Üretilbilirlik (Ease of Production)	Nesnenin ya da sistemin üretiminin ya da imalatının az tesis imkanlarıyla, kolaylıkla ve az emekle üretilmesini tanımlamaktadır. Bu özelliğin kıymetinin özel imalat teknolojilerinin varlığına bağlı olduğu belirtilmektedir.

Problem modeline göre parametreler iki sınıfta derlenebilir: anında ve maliyetsiz uyumlandırma, enstrumantasyon kalitesi. Teknik çelişkinin kökeninde BDKK tasarım değişikliğinin gerçekleştirilmesinin zaman alması ve maliyetli bir süreç olması yattığından, uyumlandırmanın niteliği ile ilişkilendirilebilecek özellikler “zaman kaybı”, “hız”,

“verimlilik”, “kullanılabilirlik”, “karmaşıklık” ve “üretilebilirlik” olarak sıralanabilir. Tanımlanan problem modeli özelinde aralarında anlamsal olarak küçük farklılıklar bulunan bu parametreler aşağıdaki gibi yorumlanabilir:

- Zaman Kaybı: İhtiyaç duyulan eylemin gerçekleşmesi için harcanan zaman, problem modeline göre BDKK tasarımının değiştirilmesi ve yeniden üretim için harcanan zaman olarak yorumlanabilir. Teknik sistem için ideal durumda, uyumlandırma gerektiğinde BDKK’nın yeniden tasarımı için de üretim için de zaman harcanmamalıdır.
- Hız: Uyumlandırma ihtiyacının karşılanması için teknik sistemin geçirdiği dönüşüm sürecinin kısa bir zamanda gerçekleşmesi hızda iyileştirme olarak yorumlanabilir.
- Verimlilik: Her bir enstrumantasyon işlemi için teknik sistemin ihtiyaç duyduğu zaman ve maliyet olarak yorumlanabilir. İdeal durumda işlemin tanımlanmasından, verinin eldesine kadar bir kaynak harcanmamalıdır.
- Kullanılabilirlik: Anında ve maliyetsiz uyumlandırma için ideal nihai sonuca göre enstrumantasyon süreci kendiliğinden gerçekleşmelidir. Teknik sistem için tanımlanan kısıtlar göz önünde bulundurulduğunda ise hem uyumlandırmanın hem de işlemin en az personel ve işlem adımı ile ek özel bir araç kullanmadan standart prosedürler ile gerçekleşmesi hedeflenmelidir.
- Karmaşıklık: EKS’yi hedef alan bir enstrumantasyon teknik sistemini oluşturan elemanların ve çeşitliliğinin, uyumlandırılabilirliği sağlamak için eleman çeşitliliğinin az tutulması ihtiyacını tanımlamaktadır.
- Üretilebilirlik: BDK ve BDKK üretimi, tasarımın nasıl yapıldığına direkt olarak bağlı olarak kolaylıkla karmaşıklaşabilen bir süreçtir. Tek katmanlı BDK’ya sahip BDKK’ların imalatı çok basit araçlarla hızlıca gerçekleştirilebilirken, 3 ve daha fazla katmana sahip BDK’lar için imalat tesis imkanları gerekebilmektedir. Yoğun serime sahip BDK’larda kullanılması gereken mikro teknolojiler ise üretimi gerçekleştirebilecek tesislerin sayısını da azaltarak ciddi maddi külfet oluşturabilmektedir. Mevcut teknolojik yeterlilikler sebebiyle tasarım karmaşıklığı ile orantılı olarak artan bekleme süresi ve maliyet, üretilebilirliği teknik sistemin kritik özelliklerinden birisi haline getirmektedir.

Problem modeline göre, teknik sistemi anında ve maliyetsiz uyumlandırma müdahaleleri enstrumantasyon işleminin kalitesini düşmektedir. Kalite ise hem teknik sistemin hedefi olan veri ile hem de verinin elde edilme işleminin yerine getirilmesi ile tanımlanabilir. Enstrumantasyonun amacı olan veri, nihai olarak EKS'nin elemanlarının uygunluğuna dair bilgi vermektedir. Örneğin eyleyicinin enstrumantasyonu, eyleyicinin güç gereksinimlerinin değişmesinin güç topolojisinde ne gibi etkileri olacağına dair kestirim yapılabilmesini sağlayan bilgisini sağlamalıdır. Bu durumda BDKK'nın tasarımının güncellenerek yeniden tasarlanması en iyi durumken, ek BDK'lar veya uzay lehim gibi çözümler en kötü çözümler olarak değerlendirilebilir. Buna göre ölçüm doğruluğu, veri kaybı ve güvenilirlik özelliklerinden bahsetmek mümkündür:

- **Ölçüm Doğruluğu:** Ana hedef olan verinin, doğru olarak elde edilmesi enstrumantasyon işleminin en önemli özelliği olarak değerlendirilebilir. Özellikle analog, sayısal ve güç hatlarının bir arada bulunduğu EKS'lerde ölçüm performanslarının değerlendirilmesi BDKK'nın tasarımı ile yakından ilgilidir. Benzer şekilde soğutulması gereken devre elemanlarının eklemeler üzerinden BDK'ya aktarabildiği ısı da BDK tasarımına bağlıdır. Bu sebeple özellikle devre topolojilerinin sınanmasında ölçüm doğruluğu, BDKK tasarımının nihai duruma yakın olmasına bağlıdır.
- **Veri Kaybı:** Topolojilerin, algoritmaların, eyleyicilerin ya da algılayıcıların çalışma ve uyumluluklarına dair verinin, gerçek durumu yansıtacak şekilde toplanması kritiktir. Devre yollarının geometrisi ve empedansı, yolların birbirleriyle etkileşimi, devre elemanlarının soğutucu yüzey temasları gibi tasarım özelliklerini etkileyen ve teknik sistemi nihai konfigürasyondan uzaklaştıran her müdahale veri bütünlüğünü olumsuz yönde etkilemektedir.
- **Güvenilirlik:** BDKK içine yapılmayan uzay lehim, ek kablaaj, ek BDK gibi müdahaleler teknik sistemin hem işlevsel hem de operasyonel güvenilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir.

Problem modeline göre tespit edilen parametrelerin teknik sistem özelinde somutlaştırılması sonucunda çelişkiler matrisinde iyileşen ve kötüleşen özelliklerin tespiti mümkün hale gelmektedir. Teknik sistem için iyileştirilmesi gereken özellikler, uyumlandırılabilirlik ve çok yönlülük, hız, zaman kaybı, verimlilik, üretilebilirlik, kullanılabilirlik olarak sıralanabilirken; kötüleşmemesi gereken özellikler karmaşıklık,

ölçüm doğruluğu, veri kaybı, güvenilirlik olarak sıralanabilir. Bu parametreler çelişkiler matrisinde takip edildiği zaman elde edilen standart çözümler Çizelge 4.6'daki gibi ortaya çıkmaktadır. Çelişkiler matrisinin tamamı EK-2'de yer almaktadır.

Çizelge 4.6. Çelişkiler matrisinin ilgili bölümü

Kötüleşen Özellik \ İyileşen Özellik		24	27	28	36
		Veri Kaybı	Güvenilirlik	Ölçüm Doğruluğu	Karmaşıklık
9	Hız	13, 26	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 4, 34
25	Zaman Kaybı	24, 26, 28, 32	10, 30, 4	24, 34, 28, 32	6, 29
32	Üretilebilirlik	32, 24, 18, 16		1, 35, 12, 18	27, 26, 1
33	Kullanılabilirlik	4, 10, 27, 22	17, 27, 8, 40	25, 13, 2, 34	32, 26, 12, 17
35	Uyumlandırılabilirlik ve Çok Yönlülük		35, 13, 8, 24	35, 5, 1, 10	15, 29, 37, 28
39	Verimlilik	13, 15, 23	1, 35, 10, 38	1, 10, 34, 28	12, 17, 28, 24

Çelişkiler matrisinin doğasında tekil çelişkiler yattığından, iyileşen parametrelere karşın birebir olarak kötüleşen parametrelerin yarattığı çelişkilerin çözümü ilgili hücrelerde yer almaktadır. Bu sebeple geliştirilmesi istenen teknik sistemde olduğu gibi sorunun kök nedeninin birden fazla parametreyi bir arada değiştirdiği durumlar matrisin ana kullanım amacının dışında kalmaktadır. Bu gibi durumlarda ARIZ85-C problemin rafine edilmesi için algoritmanın geri kalan aşamalarından devam edilmesini önerse de, mevcut durumda elde edilen çözümler de somutlaştırılabilir durumdadır. Buradan yola çıkarak Çizelge 4.6'da önerilen standart çözümlere göz atıldığında bazı çözümlerin diğerlerine göre belirgin bir biçimde daha sık ortaya çıktığı gözlemlenebilmektedir. Çizelge 4.7'de ortaya çıkan bu standart çözümlerin tamamının frekansı listelenmiştir. TRIZ'in temelinde yatan düşüncelerden olan en az müdahale yaklaşımına dayanarak, Teknik sistemin çözmeyi amaçladığı bu çoklu parametre çelişkilerinin, frekansı yüksek çözümlerin uygulanması ile daha fazla çelişkinin daha az değişiklikle çözülmesi muhtemel bir çözüm yaklaşımı olarak ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.7. Tespit edilen standart çözümler ve frekansları

Prensip No	Prensip Adı	Frekans
28	Mekanik Sistemin Değiştirilmesi	8
1	Parçalara Ayırma	6
10	Önceden Eylem	6
24	Aracı Eleman	6
32	Renk/Optik Özellikleri Değiştirme	5
35	Özelliklerin Dönüştürülmesi	5
13	Tersinden/Diğer Türlü	4
26	Kopyalama	4
27	Kullanıp Atma	4
34	Parçaları Çıkarma ve Yeniden Yapma	4
4	Asimetri	3
12	Eşpotansiyellik	3
17	Yeni Bir Boyuta Geçiş	3
8	Denge Ağırlığı	2
15	Dinamiklik, Eniyileme	2
18	Mekanik Titreşim/Osilasyon	2
29	Pnömatik veya Hidrolik Yapı	2
2	Çıkarma, Düzeltme, Kaldırma, Özütleme	1
5	Birleştirme	1
6	Evrensellik	1
11	Önceden Önlem Alma	1
16	Kısmi veya Aşırı Çalışma	1
22	Zararı Yarara Dönüştürme	1
23	Geri Besleme	1
25	Self Servis	1
30	Esnek Membranlar (Diyaframlar) veya İnce Filmler	1
37	Isıl Genleşme	1
38	Güçlü Oksidanlar, Zenginleştirilmiş Atmosfer, Hızlandırılmış Oksitlenme	1
40	Kompozit Malzemeler	1

Çizelge 4.7’de frekansı 3 ve yukarısında olan mühendislik parametrelerinin her birisi EKE için bir çözüm taslağı durumundadır. Bu taslakların gerçekleştirilmesi için hem sistemin içyapısı hem de üst sistemle etkileşimi konusundaki teknik uzmanlık kullanılarak yorumlanması gerekmektedir. Söz konu parametrelerin EKE özelinde ele alınabilecek yorumları aşağıda yer almaktadır.

Mekanik Sistemin Değiştirilmesi: EKE'ler genellikle her bir sistem için özel tasarlanan ve asgari işlev ile asgari maliyete ürettirilen mühendislik ürünleridir. Teknik sistem için tanımlanan taktik olarak kullanılabilir şartı da EKE'lerin mekanik bütünlüğünü alternatif bir fiziksel prensiple değiştirilmesini imkanını ortadan kaldırmaktadır. Bu sebeple hem EKS'lere hem de EKE işlevlerine yönelik enstrumantasyon çalışmalarında ihtiyaç duyulan değişikliklere uyum daha çok söz konusu prensibin “hareketsizleri hareketlilerle”, “değişmeyenleri zaman içinde değişenlerle” ve “rasgele olanları yapılandırılmışlarla” değiştirme yaklaşımına dayanmalıdır. Bu yaklaşım ise ihtiyaç duyulan işlevi karşılayan fiziksel birimin işlem sırasında hareket ettirilebilmesini ve değiştirilebilmesini önermektedir. Zaten bu yaklaşım uzay lehim gibi müdahaleler ile yapılagelmektedir. Fakat bu değişimin rasgele değil düzenli, standartlaştırılmış bir yapıda olması belirgin bir çözümün ortaya çıkmasını sağlayabilecektir. Bütün bu verilerin ışığında uygun ve standartlaştırılmış, rastgele olmayan arayüzler ile işlevsel birimlerin değiştirilebilir ya da hareket ettirilebilir hale getirilmesi gerektiği sonucuna varılabilir.

Parçalara Ayırma: Her bir EKS sisteminde ortak olan işlevler bulunmakta ve ayrı olacak şekilde bölümlenebilmektedir. Örneğin her bir EKS'de eyleyici, EKE ve mekanizma ayrı ayrı işlevlere ve performans kriterlerine sahip olmakla beraber farklı tasarım ekiplerince düşük bağımlılık oranıyla tasarlanabilmektedir. Sistem mühendisliği yaklaşımı açısından da karmaşık sistemlerin bölümlendirilerek tasarlanması ünlü “Böl ve Yönet” prensibine paralel olarak gerçekleştirilmektedir. Sistemlerin 5 ila 7 arasında bölümlendirilmesi uygulamada ideal bir sayı olarak karşımıza çıkmaktadır. Nitekim, sistem sayıca fazla bölüme ayrılırsa ele alınan hem bölümlerin iç yapısı pratik olmaktan uzak olacak şekilde basitleşecek hem de bölümler arası ilişki yapısı karmaşıklaşacaktır. Öte yandan, sistem sayıca az bölüme ayrılırsa da, hem ele alınan hem bölümlerin iç yapısı pratik olmaktan uzak olacak şekilde karmaşıklaşacak hem de bölümler arası ilişki yapısı basitleşecektir. EKE'nin de bu durum için bir istisna teşkil etmesini sağlayacak bir gerekçe bulunmamaktadır. EKE işlevleri göz önünde bulundurulduğu zaman, sistemin Pozisyon Geri Besleme Birimi, Akıllı Birim, Arayüz Birimi, Güç Birimi, Sürücü Birimi, Akım Geri Besleme Birimi ve Ataletsel Geri Besleme Birimi olmak üzere 7 ortak işlev örüntüsüne sahip olduğu görülebilmektedir. Bu bulguya dayanarak, EKE'nin 7 işlevsel ana parçaya bölümlendirilmesi gerektiği sonucuna varılabilir.

Önceden Eylem: Enstrumantasyon işlemleri rastgele değil belirli bir test örüntüsüne uyularak yapılmaktadır. Her bir Enstrumantasyon görevinin girdi ve çıktıları belirli olsa da, numunenin özelliklerini kestirmek mümkün olmadığından numune belirleninceye kadar teknik sistemin uyumlandırılması mümkün olmamaktadır. Örneğin bir DAM motorunun güç karakterizasyonu için ihtiyaç duyulan sürücü topolojisinin sabit olmasına rağmen, topolojide yer alan devre elemanlarının dayanımı direkt olarak DAM parametrelerine bağlı olmak durumundadır. Söz konusu prensibe göre teknik sistemin uyumlandırılması için gereken değişikliklerin işlem öncesi tamamen ya da kısmen yapılması önerilmektedir. Bu durumda teknik sistemin fiziksel olarak değişikliğe ihtiyaç duyan elemanlarının işlem sırasında müdahale edilerek değil, numune belirlenmesi aşamasında gerçekleştirilmesi göz önünde bulundurulabilir. Bu da göstermektedir ki, EKE'nin işlevsel mimarisi gözetilerek sabit işlevleri yerine getiren donanımsal bütünler işlem öncesinde üretilmiş olmalı ve mümkünse aynı serime sahip alternatif devre elemanlarını da bulunduran devre elemanları gözetilerek üretilmelidir.

Aracı Eleman: Enstrumantasyon işleminin gerektirdiği değişiklikler her zaman işlevsel gereksinimler getirmemekte, çoğu zaman pratik gerekçelerle de ortaya çıkabilmektedir. Bu prensibin önerdiği bir aracıya işlevin geçici olarak “aktarılması”, gereken değişikliklerin teknik sistemin değiştirilmesi zor fiziksel bölümlerinde gereken değişikliklerin, değiştirilmesi kolay ve hızlı olan başka bir fiziksel elemana aktarılması olarak yorumlanabilir. Bu durumda uyumlandırmayı devralacak, işlevsel olarak belirlenmiş bütünlerin yerine ya da aradaki etkileşimlerde kullanılabilen aracı donanımlar göz önünde bulundurulmalıdır.

Renk/Optik Özellikleri Değiştirme: EKE'leri oluşturan elemanların ne renklerine ne de optik özelliklerine müdahale etmek, hazır raf ürünü elemanlar ve standart prosedürler kullanıldığından mümkün olmamaktadır. Bu durumun tek istisnası baskı devre kartlarının en üst katmanlarında yalıtım amacıyla kullanılan lehim maskesi katmanı ve markalama amacıyla kullanılan serigrafi katmanıdır. Lehim maskesinin renginin değiştirilmesi ve BDK üzerinde yapılan uygun markalamalar ile enstrumantasyon işlemleri sırasında yapılması gereken uyumlandırma işlemleri takip ve kontrol edilebilir hale getirilebilecektir.

Özelliklerin Dönüştürülmesi: EKE için uyumlandırmanın en zor olduğu işlevsel kısmın akıllı birim olduğu söylenebilir. Özellikle top ızgara dizisi (Ball grid array, BGA) tipi ayakzine sahip entegrelerin makine dizgisi gerektirmesi, hızlı ve yerinde uyumlandırma ihtiyacına ket vurmaktadır. Bunun için prensibin esneklik derecesinin değiştirilmesi önerisi, akıllı birim ile diğer birimler arasındaki arayüzün esnek bir yapı ile sağlanması göz önünde bulundurulmalıdır.

Tersinden/Diğer Türlü: Sabit parçaların hareketli, hareketli parçaların sabit hale getirilmesini ve nesnelerin baş aşağı çevrilmesini öneren bu prensip, EKE için “mekanik sistemin değiştirilmesi” prensibi ile benzer nitelikler göstermektedir. Ek olarak hareket kazandırılan fiziksel birimlerin uyumluluklarının sağlanmasında alt/üst katmanların ya da arayüzlerin iç/dış hatlarında çapraz değişim göz önünde bulundurulabilir.

Kopyalama: Söz konusu prensip “Orijinal fakat kırılğan veya kullanımı zahmetli olan bir nesnenin yerine, basitleştirilmiş ve pahalı olmayan bir kopyası kullanılması” ile ilintilidir. EKE’nin işlevsel birimlere bölünerek bu birimlerin modüler bir hale getirilmesi, EKE’nin taktik uygulamalara özel eniyilendirilmiş yapısının laboratuvar kullanımına daha uygun bir hale getirmiş bir teknik sisteme dönüştürülmesini sağlayacaktır. Böylelikle değişen enstrumantasyon ihtiyaçlarına uyumlu EKE’nin işlevsel bir kopyası elde edilmiş olacaktır.

Kullanıp Atma: “Kopyalama” prensibine paralel olarak teknik sisteme ait modüllerin elle dizilebilir devre elemanlarına sahip olması, gravür makineleri ile üretilebilir basit baskı devre kartlarına sahip olması anlık ve yerinde uyumlandırılabilirliği sağlayacak yaklaşımlar olarak düşünülebilir.

Parçaları Çıkarma ve Yeniden Yapma: Çoğu enstrumantasyon örüntüleri EKE’nin bütün işlevlerinin aynı anda yerine getirilmesine ihtiyaç duymamaktadır. EKE’nin tüm alt sistemlerinin çalışır olması ise ihtiyaç durumunda gerçekçi çalışma şartlarının taklit edilmesi açısından olumlu olabilirken, hata analizlerinde etkileşimlerin izole edilmesi ihtiyacı durumunda olumsuz olabilmektedir. “Bir nesnenin herhangi bir parçası çalışma sırasında işlevini tamamladıktan veya işe yaramaz hale geldikten sonra devre dışı bırakılır” ve “Bir nesnenin kullanılamayacak hale gelen parçaları, çalışma sırasında yenilenmelidir” prensiplerinden yola çıkarak, teknik sistemin işlevlerini yerine getiren fiziksel birimlerinin

ayrık olarak çalışabilmesi, gerektiğinde devreye alınıp gerektiğinde devreden çıkarabilmesinin mümkün olması gerektiği sonucuna varılabilir.

Asimetri: Teknik sistem için tanımlanan hız, güvenilirlik, zaman kaybı gibi parametrelerin çelişkisinde ortaya çıkan asimetri prensibi sistemin asimetrik hale getirilmesi veya asimetri varsa derecesinin arttırılmasını önermektedir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilecek uyumlandırmanın teknik sistemin geometrisinden de faydalanılarak yapılması anında ve maliyetsiz uyumlandırma hedefine yardımcı olacaktır. Örneğin fiziksel birimler arasındaki bağlantı yapılarının asimetrik olması, geçişin doğru yapıldığının kontrolü için geometrik özelliklerin yeterli bulgu sağlaması bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

Eşpotansiyellik: “Potansiyel” kelimesi her ne kadar Altshuller’in çalışmasında yerçekimi ile ilintilendirilmiş olsa da, kelimesinin anlamından yola çıkarak “birim kütle, elektrik yükü veya diğer kuvvet parametresi başına, durum ya da konuma bağlı iş yapma yeteneği” [59] gibi genel bir biçimde de ele alınabilir. Bu mühendislik parametresinin daha çok karmaşıklığın kötü yönde etkilenmesinin engellenmesine yönelik olarak ortaya çıktığı da göz önünde bulundurulduğunda, teknik sistemin fiziksel birimlerinin işlevsellik ve özellik bakımından birbirlerine eşdeğer olarak ele alınması gerektiği, genel olarak birbirlerine üstün ya da basit kalacak şekilde bir işlevsel mimari kurulmaması gerektiği sonucuna varılabilir.

Yeni Bir Boyuta Geçiş: “Nesnelerin tek boyutlu hareket veya yerleşimlerini iki boyuta” çıkarılmasını öngören bu prensibe göre, teknik sistemin uyumlandırılabilirliğini arttırmanın bir yolu olarak fiziksel birimlerin yerleşim yapılarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Buna göre fiziksel birimler sadece yatay olarak değil dikey olarak da yapılandırılabilir olmalıdır sonucuna varılabilir.

EKE tabanlı enstrumantasyon amaçlı bir teknik sistemin ortaya çıkması için kurulan problem modeli için TRIZ’in sunduğu standart çözüm sisteminin uygulanabilir çözümler türetebildiği gözlemlenebilmektedir. Bu durumda algoritma akışına göre Bölüm 2’ye geçilmesine gerek bulunmamakta, ARIZ85-C.2 ve ARIZ85-C.7 arasındaki adımlar atlanmaktadır.

ARIZ85-C.7. Fiziksel çelişki çözme yönteminin analizi

ARIZ'in bu bölümünde teknik sistem için standart çözüm sisteminden elde edilen çözümlerin kalitesi 4 adımda analiz edilmektedir.

ARIZ85-C.7.1. Çözüm kavramının kontrol edilmesi

Standart çözümler bir arada değerlendirildiğinde EKS'de pek çok değişiklik yapılarak EKS'den oldukça farklı olan yeni bir sistem ortaya çıkacağı görülebilmektedir. TRIZ yaklaşımlarına uygun olarak mümkün olduğunca öz kaynaklar gözetilerek çözümler türetilmiştir. Sistemin için tanımlanmış üretilebilirlik ve EKS uyumluluğu kıstasları gözden geçirilmedikçe sistemin “kendiliğindenliğini” arttırmak mümkün gözükmemektedir.

ARIZ85-C.7.2. Çözüm kavramının öncül kestirimi

Teknik sistem için tanımlanan ideal nihai sonuç, ihtiyacın oluştuğu anda BDKK tasarımına haricen müdahale yapılmadan BDKK bünyesinde anında ve maliyetsiz uyumlandırmanın gerçekleşmesidir. Standart mühendislik çözümlerinin yönlendirmesinden yola çıkarak EKS işlevlerine sahip tamamen yeni bir BDKK düzeni, işlevsel birimlerden oluşan modüler bir platform yapısının ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Bu durumda çözümlerin uygulanması ile ideal nihai sonucun ana gereksinimlerinin karşılanabileceği ve “hem BDKK tasarımının tamamen değiştirilmiş hem de hiç değişmemiş olması” çelişkisinin temelinde tanımlanan teknik çelişkilerin çözümlenebileceği öngörülebilir.

ARIZ85-C.7.3. Çözüm kavramının önceliğinin patent bankaları aracılığı ile kontrolü

Geliştirilen teknik sistemin özgünlüğü ticarileştirme amacı güdülmendiğinden bir kıstas olarak gözetilmemiş, ek bir patent taraması yapılmamıştır.

ARIZ85-C.7.4. Elde edilen çözüm kavramının uygulanması için alt problemlerin kestirimi

Çözüm kavramının uygulanabilmesi için enstrumantasyon planının yapıldığı aşamada işlevsel birimlerin tasarlanıp üretilmesi gerekmekte, enstrumantasyon sırasında uygun konfigürasyonu oluşturacak modüllerin hazır olması gerekmektedir. Bu sebeple bütçelemenin ve üretim planlamasının yapılarak takibinin gerçekleştirilmesi gerekecektir. Modüllerin enstrumantasyon sırasında kullanımı için ise ilgili personelin modüllerin işlevleri, yetenekleri, sınırlamaları ve arayüzleri ile ilgili bilgi sahibi olması gerekmekte, kullanımı için basit bir eğitimden geçmesi gerekmektedir. Bu pürüzler haricinde, teknik sistemin uygulanmasının önünde ciddi bir engel öngörülmemekte EKS'lerin kullanımında karşılaşılmayan sıra dışı sorun beklenmemektedir.

ARIZ85-C.8. Ulaşılan çözümün uygulanması

Bu çalışma kapsamında EKS tabanlı bir teknik sistemin ortaya çıkarılması için tanımlanan hedefler ve kısıtlara rağmen ARIZ'in amaçladığı evrensel bir çözüm kavramına yönelik adımlar bu bölümde 3 adımda incelenmektedir.

ARIZ85-C.8.1. Üst sistemde gerekecek değişikliklerin kestirimi

Teknik sistemde enstrumantasyonun gerçekleştirilmesi için sistem bünyesinde uyumlandırmanın kolayca sağlanması amaçlanmış, üst sistemde herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duyulmayacak şekilde çelişkilerin çözülmesi sağlanmıştır. Bu sebeple üst sistemde herhangi bir değişiklik yapılmasına gerek olmayacaktır.

ARIZ85-C.8.2. Ulaşılan çözüm için yeni bir uygulama bulunması

Ulaşılan çözüm EKS tabanlı bir teknik sistem için özel olarak yorumlanmış olmasına rağmen bu tip bir elektronik donanım için yorumlanan standart çözümlerin herhangi bir elektronik donanıma yönelik de uygulanmasını engelleyecek kavramsal bir engel görülmemektedir. Komşu sistemlerde, mühimmat harici hava platformlarında ya da diğer endüstri kollarındaki kontrol elektronikleri için de çözümün genelleştirilmesi mümkündür.

ARIZ85-C.8.3. Çözüm kavramının diğer problemlere uygulanması

Uyumlandırma ihtiyacının ortaya çıktığı anda ve sıfır maliyetle işlemin gerçekleştirilebilme ihtiyacı çevik tasarım yöntemlerini güden tüm elektronik sistem geliştirme süreçlerinde ortaya çıkacaktır. Bu ihtiyacın ortaya çıktığı tüm sistemlerde kullanılan çözüm kavramı şu şekilde prensipleştirilebilir:

- Teknik sistemin işlevsel mimarisi ve üst sistem etkileşimleri tanımlanır
- Teknik sistemin işlevleri eşdeğer karmaşıklıkta en fazla 6-7 birime ayrılır
- Birimler arasındaki etkileşimler tanımlanır ve bu etkileşimi sağlayacak arayüzler standartlaştırılır
- Her bir işlevsel birim bağımsız çalışabilen fiziksel bir modül olarak tasarlanır
- Uyumlandırma gerektiğinde işlev odaklı gerçekleştirilir
- Amaçlanan işlev setini sağlayabilecek konfigürasyona ait modüller bir araya getirilerek işlem gerçekleştirilir

ARIZ85-C.9. Sorun çözme sürecinin analizi

ARIZ'in son bölümünde çözüm sürecinin analizi 2 adım ile gerçekleştirilmekte ve algoritma sonlanmaktadır.

ARIZ85-C.9.1. Önerilen ile gerçek sürecin karşılaştırılması

ARIZ'in uygulanması ile elde edilen çözüm kavramının uygulanması sırasında anlamlı bir sapma kaydedilmemiştir.

ARIZ85-C.9.2. Elde edilen çözüm kavramının ve TRIZ bilgisi ile karşılaştırılması

Ortaya konan problemin var olan bir sistemin farklı bir amaçla kullanılmasına yönelik olarak tasarıma yaratıcı bir yön verebilecek bir yordama ihtiyaç duyduğu söylenebilir. Bu sebeple ARIZ'in önerdiği tek çelişki tek çözüm akışından bir miktar saparak, daha geniş bir çözüm uzayının değerlendirilmesini sağlamak amacıyla orijinal metinlerde değinilmemiş bir metot ile çelişkiler matrisini kullanmıştır. Bu yöntem oldukça basit bir yaklaşımla iyileşen ve kötüleşen parametreleri bir arada değerlendirerek, ortaya çıkan

özüm prensiplerinin frekansından yola çıkarak en az 3 çelişkiyi çözen prensipleri uygulamaya almıştır. Bu basit yaklaşımın benzer durumlarda kullanılabilirliğinin sınanması için vaka çalışmaları yapılması önerilmektedir.

ARIZ'in 9 numaralı bölümünün de tamamlanması ile EKE tabanlı bir “Enstrumantasyon için Teknik Sistemin” geliştirilme süreci tamamlanmış olmaktadır. ARIZ ile elde edilen çözüme göre standartlaştırılmış fiziksel ve elektriksel arayüzlere sahip yenilikçi bir modüler ve yeniden yapılandırılabilir bir donanım platformu ortaya çıkarılmıştır.

5. TRIZ ÇÖZÜM PRENSİPLERİNİN UYGULANMASI İLE ELDE EDİLEN ÇÖZÜM: MYEKP VE UYGULAMALARI

Bölüm 4'te ARIZ'in uygulanması ile Bölüm 3'te etkileri tanımlanan problemin kökeninde yatan çelişki çözümlendirilmiştir. TRIZ'in hedef aldığı problem uzayında karmaşık olmayan problemlerden birisi olduğu ortaya çıkan bu teknik çelişkinin kökeninde BDKK tasarım değişikliğinin gerçekleştirilmesinin zaman alması ve maliyetli bir süreç olması yattığı tespit edilmiş, çelişen mühendislik problemlerine karşın standart çözüm prensipleri elde edilmiştir. Teknik sistemin çelişen özelliklerine karşın elde edilen standart çözüm prensipleri, ortaya çıkarılmak istenen EKE tabanlı teknik sistemin EKE üzerinde ne gibi değişiklikler yapılması gerektiğini işaret etmektedir.

Standart çözüm prensipleri uygulamaya yönelik olarak ele alındığında, teknik sistemin eldesi için EKE'ye uygulanılacak değişiklikler ile teknik sistemin taşınması gereken özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- Teknik sistemin yapısı EKE işlevlerini temel alan bir kopya niteliğinde olmalıdır.
- EKE, işlevsel bölümlere ayrılmalıdır. Eyleyici kontrolü için gereken işlevlerden yola çıkarak mimari gözden geçirildiği zaman işlevsel bölümler şu şekilde ortaya çıkmaktadır: Pozisyon Geri Besleme Birimi, Akıllı Birim, Arayüz Birimi, Güç Birimi, Sürücü Birimi, Akım Geri Besleme Birimi, Ataletsel Geri Besleme Birimi.
- Her bir işlevsel birim karmaşıklık açısından denk olmalı, işlevler birden fazla fiziksel birime derlenmemelidir.
- Her bir fiziksel birim işlevsel özelliklerine uygun standart arayüzlere sahip olmalıdır.
- Fiziksel birimler birer modül yapısında olmalı, enstrumantasyon işlemine göre eklenip çıkarılabilmeli, hareketli kolay olmalıdır.
- Modüller enstrumantasyon işlemine göre anında yapılandırılabilirmeli, ek bir üretim ya da uyumlandırma gerektirmemelidir.
- Modüller mümkün olduğunca basit olmalı, hızlı prototipleme yöntemlerine uygun üretim karmaşıklığına sahip olmalıdır.
- Modüller arasındaki arayüzler basit olmalı, basitleştirmek için arayüz parçaları kullanılmalıdır. Arayüz değişikliklerinde modüller yerine bu parçalar uyumlandırılabilir olmalıdır.

- Modüllerin tamamı bir araya geldiğinde EKE'nin tüm işlevleri yerine getirilebilir olmalı aynı zamanda her bir işlevin diğerinden bağımsız çalışabilmesi ya da enstrumantasyon işlemine göre çeşitli konfigürasyonlarda bir araya getirilerek çalışabilmesi mümkün olmalıdır.
- Modüler yapı yatay değil dikey olarak da yapılandırılabilmesi, dikey yapıda katlanma ve asimetri özellikleri ile karmaşıklık engellenmelidir.
- Akıllı birim gibi değişikliklerin sık ortaya çıktığı ve zor uygulanabileceği birimlerde “taşıyıcı” nitelikte modüller bulunmalı, bu modüllerde uyumlandırılabilirlik uygun kablolarla sağlanmalıdır.
- Uyumlandırılabilirlik özellikleri lehim maskesi renkleri ve serigrafi kodları ile gösterilmelidir. Eğer gereksinim değişiklikleri uyumlandırılabilirlik sınırlarını aşacak mertebede ise, farklı uyumluluk sınıfları için farklı renkler ve kodlar kullanılmalıdır.

Bu değişiklikler ve özelliklerin hangi standart çözümü karşıladıkları Çizelge 5.1’de görülebilmektedir.

Çizelge 5.1. Standart çözümler ve uygulamaları

Standart Çözüm	Uygulaması
Mekanik Sistemin Değiştirilmesi	İşlevsel bölümlerin modüller haline getirilmesi, modüller işlem sırasında değiştirilebilmesi
Parçalara Ayırma	EKE'nin işlevsel bölümlere ayrılması
Önceden Eylem	Modüllerin önceden ürettirilmiş olması, işleme uygun konfigürasyonun işlem öncesinde hazırlanması
Aracı Eleman	Taşıyıcı kart modülleri, yatay konfigürasyonda kullanılan arayüz parçaları
Renk/Optik Özellikleri Değiştirme	Uyumluluk sınıfları için lehim maskesi renklerinin kullanılması, serigrafi kodlarının kullanılması

Çizelge 5.1. (devam) Standart çözümler ve uygulamaları

Özelliklerin Dönüştürülmesi	Akıllı birim arayüzlerinin jumper tipi kablolar ile tüm uyumlandırma uzayını kapsayacak şekilde tasarlanması
Tersinden/Diğer Türlü	Modüler yapının işlem sırasında değiştirilebilmesi, dikey konfigürasyonda modüllerin birbiri üzerine katlanması
Kopyalama	İşlevsel bir kopya niteliğindeki modüler yapı
Kullanıp Atma	Hızlı prototiplenebilirlik
Parçaları Çıkarma ve Yeniden Yapma	Fiziksel birimlerin bağımsız çalışabilmesi, çeşitli çalışma konfigürasyonlarının oluşturulabilmesi
Asimetri	Dikey geçiş asimetrisi, geometrik izler
Eşpotansiyellik	Sistemin işlevlerinin modüllere dağıtılması, modüllerin tek bir işlevi yerine getirecek şekilde eşdeğer karmaşıklıkta olması
Yeni Bir Boyuta Geçiş	Yatay konfigürasyona ek olarak dikey konfigürasyon yapılabilmesi

Çalışmanın bu bölümünde söz konusu prensipler ışığında yapılması gereken değişikliklerin uygulanması ile elde edilen modüler ve yeniden uyumlandırılabilir bir eyleyici kontrol platformu (MYEKP) anlatılmaktadır. İki kısımda ele alınan bu bölümde ilk olarak standart çözüm prensiplerinin bütünsel olarak ele alınması ile elde edilen özgün işlevlere sahip modüler yapıdaki platform yapısı tanıtılmış, işlevleri, özellikleri ve sınırlamaları tanımlanmıştır. İkinci kısımda ise Bölüm 2’de elektrik-elektronik mühendisliği için çerçevesi çizilmiş olan TRIZ metodolojisinin, Bölüm 3’te ortaya konan ihtiyaçlara göre uygunluğu laboratuvar ortamında tanımlı enstrumantasyon girişimleri ile denenmesi ve gözlemler aktarılmıştır.

5.1. Elde Edilen Çözümün Uygulanması: MYEKP ve İşlevsel Olarak Bölümlendirilmiş Modüllerin Özellikleri

Ortaya çıkan teknik sistem, MYEKP, işlevlerine göre 7 modülden oluşmaktadır:

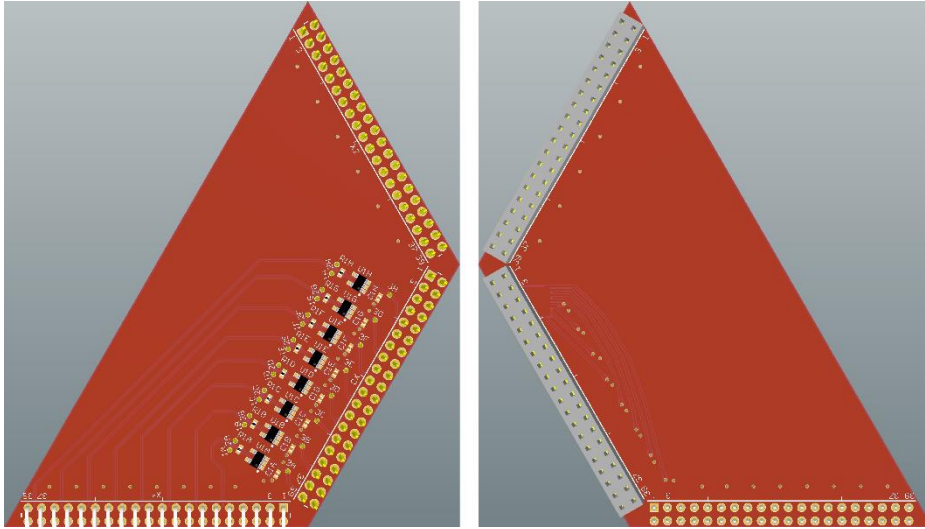
- Pozisyon Geri Besleme Birimi (GBBP)
- Akıllı Birim (AB)
- Arayüz Birimi (AY)
- Güç Birimi (GB)
- Sürücü Birimi (SB)
- Akım Geri Besleme Birimi (GBBA)
- Ataletsel Geri Besleme Birimi (GBBT)

Bu modüller enstrumantasyon işlemine göre yapılandırılarak uyumlandırılabilir. Bölüm 3'te üzerinde çalışılan senaryo model olarak geliştirilen 6 modül ile bu çalışma kapsamında bir uyumluluk sınıfı elde edilmiştir. Her ne kadar EKE işlevleri niteliksel değil nicel değişimlere konu olması beklendiğinden yeni uyumluluk sınıflarına ihtiyaç duyulmayacağı öngörülmesine rağmen mevcut yapı “uyumluluk sınıfı 1”, US-1 olarak anılacaktır. Örneğin bu çalışma kapsamında tasarlanan ve üretilen SB, aynı anda 4 adet fırçalı DAM sürebilmekteyken, FDAM sürücüleri ya da piezoyleyici sürücüleri gibi topolojilere ihtiyaç duyulması durumunda dahi gerekli güç ve kontrol arayüzlerine sahip olacağından yeni bir uyumluluk sınıfına ihtiyaç duyulmayacaktır. Bölüm 3'teki senaryodan yola çıkılarak yürütülen bu çalışma kapsamında tasarlanarak ürettirilen modüller ise “US-1A kapsamında” şeklinde anılacaktır. US-1 uyumlu olan modüller ve US-1A kapsamında gerçekleştirilen özellikleri sırayla bu kısımda incelenecektir.

5.1.1. Pozisyon geri besleme birimi

Eyleyicinin hareketinin ve bu hareket sonucunda gerçekleşen pozisyon değişiminin hesaplanması için gerekli verinin Akıllı Birime sağlanabilmesi için kullanılan sensör donanımını süren birimdir. Başlıca görevleri ise sensör donanımlarını enerjilendirmek ve uygun bir arayüz ile algılayıcıdan toplanan verileri akıllı birime uyumlandırarak aktarmaktır. Mutlak veya arttırımsal kodlayıcılar gibi dönüsel veya doğrusal hareketlerin algılanması için tasarlanabilmektedir.

US1-A kapsamında dört adet arttırımsal kodlayıcıyı enerjilendirerek, kodlayıcı işaret hatlarını AB için uygun olacak şekilde koşullandırmaktadır. Şekil 5.1 modülün ön ve arka tarafının ECAD görselini sunmaktadır.

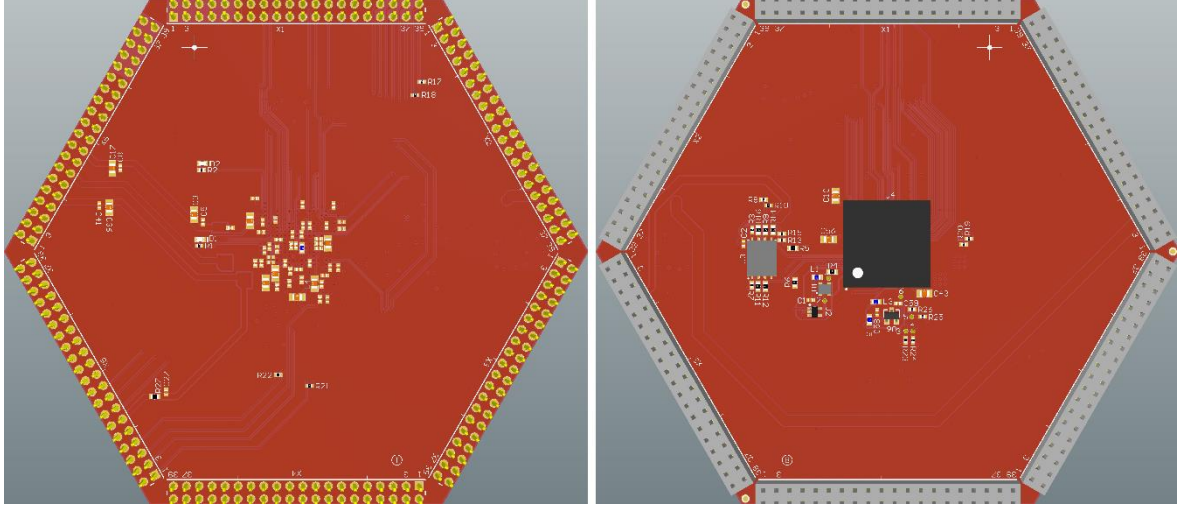


Şekil 5.1. GBBP modülünün ön ve arka görünümünü gösteren ECAD görseli

5.1.2. Akıllı birim

Kapalı döngü kontrol işlevinin yerine getirilmesi için gereken tüm ana işlevleri üstlenen birimdir. Harici sistemden gelen komutların yorumlanması, ana sistemden istenen bilgilerin derlenmesi, geri besleme verilerinin anlamlandırılması, eyleyicinin hareketinin planlanması, sistemin sağlığının denetlenmesi gibi işlevleri yerine getiren kontrol yazılımını koşturan mikrodenetleyici vb. bir platform barındırır. Aynı zamanda diğer birimlerin enerjilendirilendirilmesi için de bir dağıtım arayüzü görevi üstlendiğinden hem geometrik olarak hem işlevsel olarak tüm platformun çekirdeği niteliğindedir. Bu sebeple yüksek uyumlandırılabilirlik ihtiyacının karşılanabilmesi için mikroişlemci, FPGA veya SOC (*System on Chip*) platformlarını taşıyacak şekilde tasarımı mümkün olmasının yanı sıra, daha küçük akıllı çekirdek modüllerini taşıyacak şekilde de tasarlanabilmektedir.

US1-A kapsamında iki fiziksel işlemcisi bulunan FPGA dokusuna da sahip gelişmiş bir SOC entegresi, FLASH hafızası ve LED göstergeler bulundurmaktadır. Şekil 5.2 modülün ön ve arka tarafının ECAD görselini sunmaktadır.

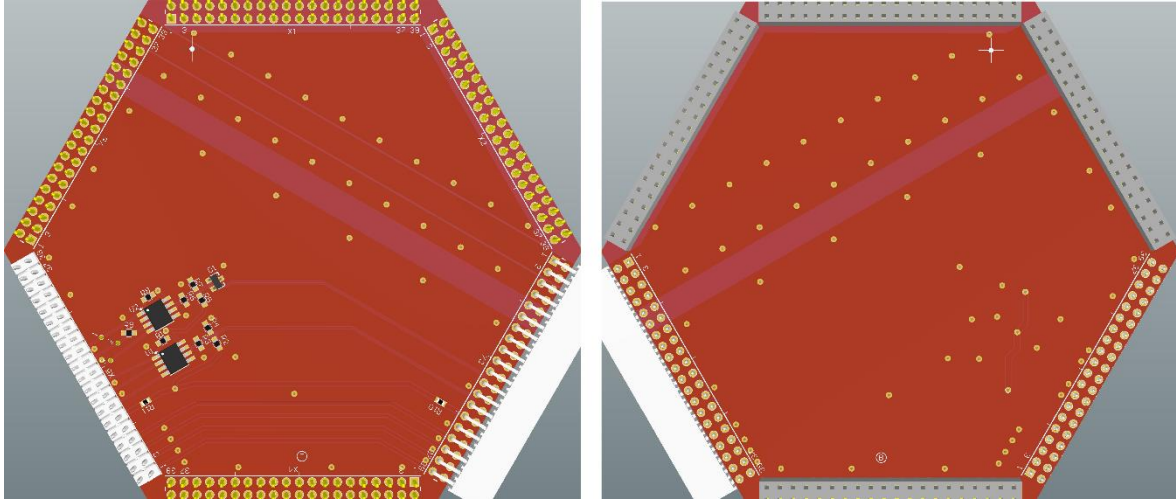


Şekil 5.2. AB modülünün ön ve arka görünümünü gösteren ECAD görseli

5.1.3. Arayüz birimi

Ana sistem bağlantılarını barındıran birimdir. Ana sistem ile veri alışverişinin sağlanması ve sistem enerjisinin beslenmesini sağlar. Akıllı birime uygun standart bir haberleşme arayüzünü, uzun mesafelerde sağlıklı veri alışverişini mümkün kılan RS-485, RS-232, Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth gibi standart bir haberleşme arayüzüne çevirecek biçimde tasarlanabilmektedir. Güç arayüzü ise katastrofik hataların önüne geçecek temel güvenlik önlemlerini alarak, enerjinin Güç Birimine iletilmesini sağlayacak biçimde tasarlanabilmektedir.

US1-A kapsamında 2 adet UART-RS485 çeviricisi, programlama ve güç arayüzleri bulundurmaktadır. Şekil 5.3 modülün ön ve arka tarafının ECAD görselini sunmaktadır.

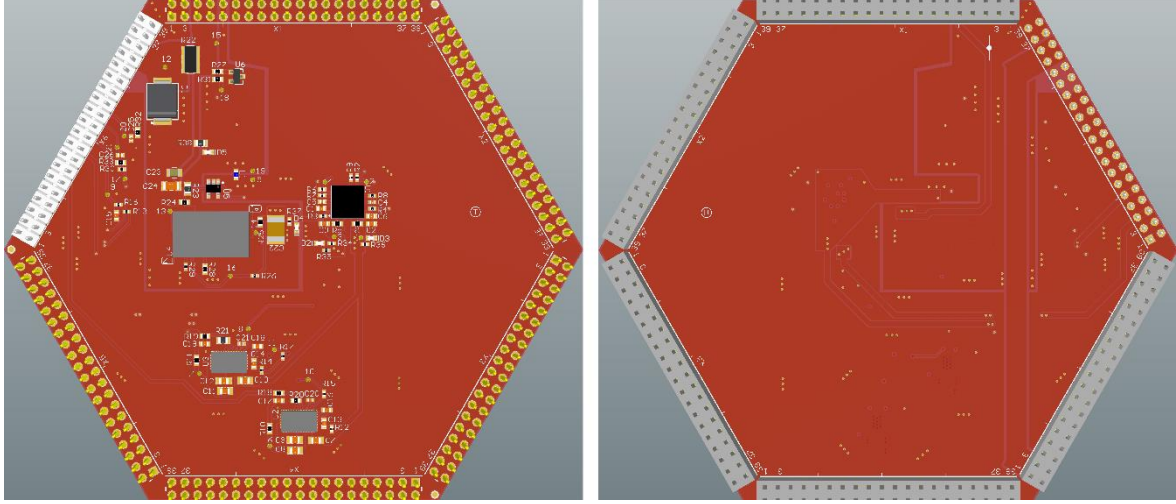


Şekil 5.3. AY modülünün ön ve arka görünümünü gösteren ECAD görseli

5.1.4. Güç birimi

Diğer modüllerin ihtiyaç duyduğu gücün sağlıklı olarak sağlanması için gerekli tüm çevrim işlevlerini yerine getiren birimdir. Ana sistemin sağladığı enerjinin uygun gerilimlere çevrilmesi, bu çevrimlerin gerektiğinde uygun bir zamanlama ve sırayla yapılması, hata denetlemesinin yapılması bu birim üzerinde yer alan güç elektroniği elemanları ile gerçekleştirilir. Sürme biriminden kaynaklanacak gürültünün diğer modüllere sirayet etmesini engelleyecek biçimde galvanik ve geometrik izolasyonun sağlanarak tasarlanması mümkündür.

US1-A kapsamında çevre birimlerine izole çeviriciler ve filtreler ile uygun gerilimlerde enerji sağlamakta, AB'deki bir SOC'nin başlatma sekansına uygun şekilde enerjilendirmeyi sağlayabilmektedir. Şekil 5.4 modülün ön ve arka tarafının ECAD görselini sunmaktadır.

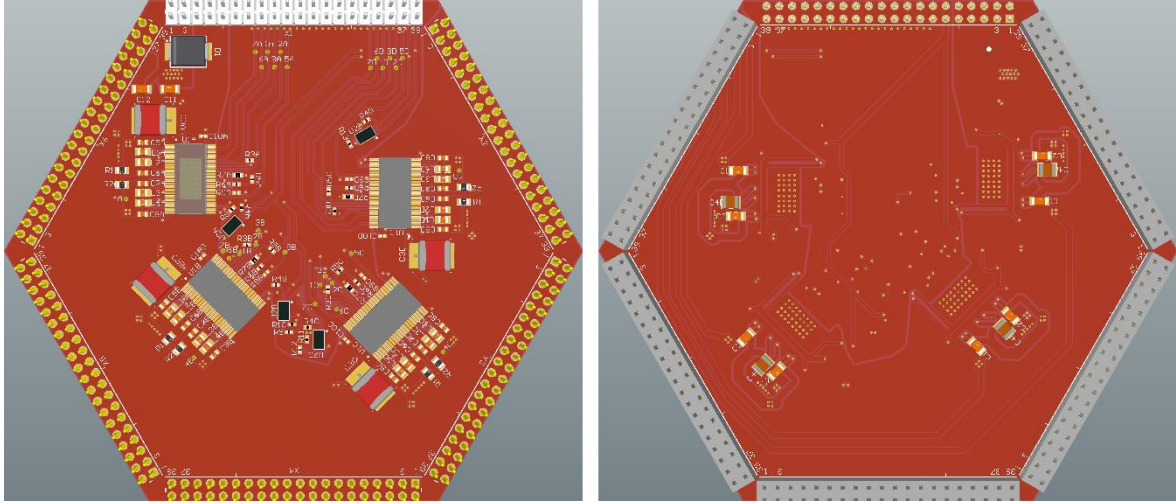


Şekil 5.4. GB modülünün ön ve arka görünümünü gösteren ECAD görseli

5.1.5. Sürücü Birimi

Akıllı birimin hesapladığı hareketin sağlanabilmesi için eyleyiciyi uygun bir biçimde sürerek enerjilendirilmesini sağlayan birimdir. Akıllı birimden aldığı komutları, Güç Biriminden sağlanan ham enerjiyi işleyerek uygun teknikler ile eyleyiciye uygular, sürücü sağlığını denetleyerek Akıllı Birime iletir. Amaca uygun anahtarlama elemanları ve anahtar sürücü entegreler gibi güç elemanları ile hata algılayıcıları ve Akıllı Birim arayüzüne uygun uyumlandırıcı entegreler bulundurulur. Piezo eyleyiciler sabit mıknatıslı senkron motor, fırçalı doğru akım motoru, limit açılı tork motoru gibi bir çok çeşitte eyleyicinin çeşitli güç mertebelerinde kullanımını mümkün kılacak şekilde uyumlandırılması mümkündür. Birimin barındığı baskı devre kartının alanının kısıtlı olması ve dikey istiflenebilirlik özelliği sebebiyle harici soğutma elemanlarının yokluğu, baskı devre kartının metal çekirdekli üretimi ile telafi edilebilmektedir.

US1-A kapsamında 4 DAM'ı birbirinden bağımsız sürebilecek şekilde 4 adet tam köprü sürücü entegresi, çevre elemanları ve sıcaklık algılayıcıları bulundurmaktadır. BDK'nın çok katmanlı ve geniş toprak bakırları ile sürücü elemanlarının soğuması sağlanırken işlemcinin elektromanyetik gürültüden kötü yönde etkilenmesinin önüne geçmek için BDK üzerinde galvanik ve geometrik izolasyon tercih edilmiştir. Şekil 5.5 modülün ön ve arka tarafının ECAD görselini sunmaktadır.

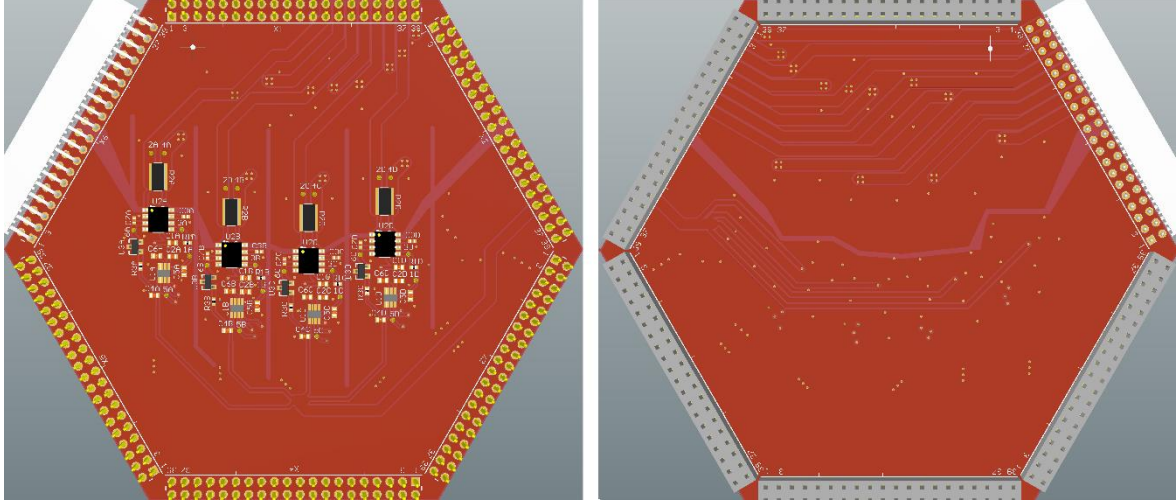


Şekil 5.5. SB modülünün ön ve arka görünümünü gösteren ECAD görseli

5.1.6. Akım geri besleme birimi

Akıllı birimin eyleyicinin hareketini denetleyebilmesi ve tork kontrolünün sağlanabilmesi için Sürücü Biriminden eyleyiciye akıtılan akımı algılayarak işlenebilir ham veriye dönüştüren birimdir. Faz içi topolojide şönt direnci veya hall etkisi sensörü gibi teknikler ile akım verisini gerilime dönüştürerek uygun niteliklerde ADC ile Akıllı Birime iletir.

US1-A kapsamında 4 DAM'ın faz içi akımlarını bağımsız olarak okuyabilecek şekilde şönt dirençleri, opamplar ve ADC'ler barındırmaktadır. Ölçüm performansının elektromanyetik gürültüden kötü yönde etkilenmesinin önüne geçmek için BDK üzerinde galvanik ve geometrik izolasyon tercih edilmiştir. Böylelikle yüksek akım/gerilim hatlarının hem endüktif hem de kapasitif kuplaj etkilerinin analog sinyal ve sayısal arayüz hatlarına etki etmemesi için önlem alınmıştır. Şekil 5.6 modülün ön ve arka tarafının ECAD görselini sunmaktadır.



Şekil 5.6. GBBA modülünün ön ve arka görünümünü gösteren ECAD görseli

5.1.7. Ataletsel geri besleme birimi

Gimbal Sistemlerinde hedef sistemin bağlı olduğu platformun hareketlerinden etkilenmemesi için gerekli verinin Akıllı Birime sağlanabilmesi amacıyla hedef sistem üzerindeki ataletsel değişiminin algılanması için kullanılan sensör donanımını süren birimdir. Görevi ise sensör donanımlarını enerjilendirmek ve uygun bir arayüz ile sensörden toplanan verileri akıllı birime uyumlandırarak aktarmaktır. Sadece arayüz işlevi görmek için tasarlanabileceği gibi ivmeölçer, dönüölçer gibi ataletsel ölçüm sensörlerini süren yarı-akıllı bir denetleme sistemi biçiminde yeniden uyumlandırılması mümkündür.

US1-A kapsamında GS yerine KTS temelli bir EKE senaryosu temel alındığından öncelikli ihtiyaç olarak değerlendirilmemiş ve üretimi gerçekleşmemiştir.

Pratik MYEKP Modülleri

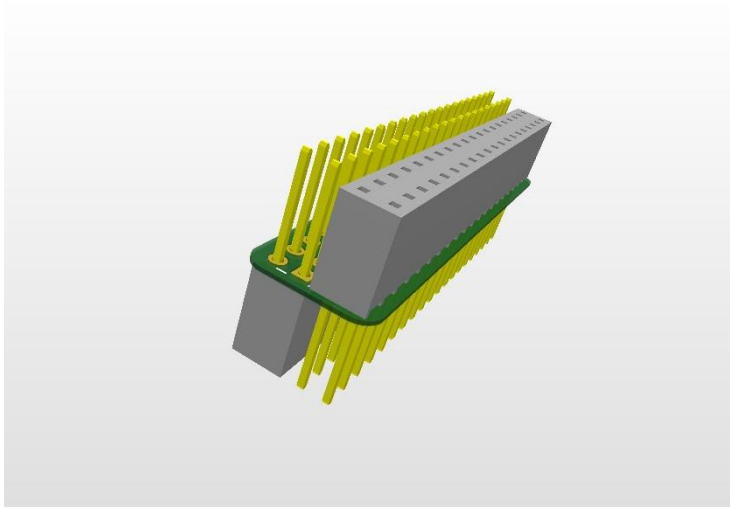
MYEKP'nin işlevsel 7 birimine ek olarak, sistem karmaşıklığını engelleyen ve “anında ve maliyetsiz uyumlandırma” ihtiyacına pratikte de yaklaşılmasını sağlayan prensiplerin uzantısı olarak geliştirilmiş 1 adet arayüz parçası ve 2 adet de destekleyici modül bulunmaktadır.

- Yatay konfigürasyon bağlantı parçası
- Akıllı birim arayüz modülü (ABBO)

- Akıllı çekirdek modülü

5.1.8. Yatay konfigürasyon bağlantı parçası

Platform dikey olarak istiflenerek kullanılmadığı durumda, yatay kullanımı mümkün kılmak için birbiri arasında bağlantı bulunan iki komşu modülün arayüzüne geçen modüldür. Gerektiğinde dikey istife veya test amacıyla harici sisteme standart dışı bağlantı yapılmasını sağlayabilir. Şekil 5.7 parçanın izometrik olarak ECAD görselini sunmaktadır.

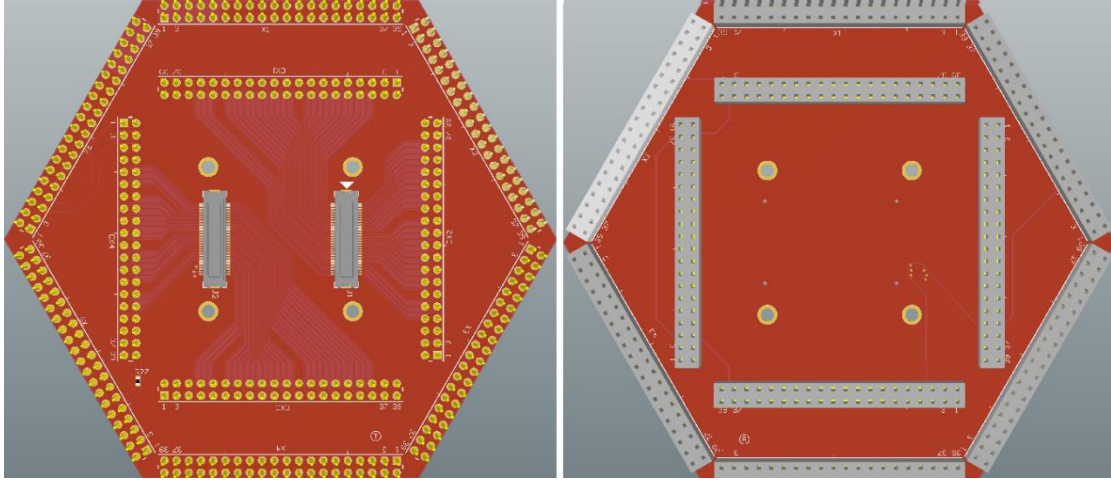


Şekil 5.7. Bağlantı parçasının ön ve arka görünümünü gösteren ECAD görseli

5.1.9. Akıllı birim arayüz modülü

Akıllı birimin tekrar tekrar üretilmesinin önüne geçmek için tasarlanmış düşük maliyetli bağlantı modülüdür. Üzerinde standart arayüzlere ek olarak, akıllı çekirdek modülünün takılabilmeye sağlayan bir arayüz ve bu arayüzlerin tam esneklikle standart arayüzüne manuel olarak bağlanmasını veya harici sisteme aktarılmasını sağlayan ek bir arayüz bulunur.

US1-A kapsamında COTS ÇM'lerde standart form faktörlere uygun olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu form faktöre uyan herhangi aynı konektör arayüzüne sahip herhangi bir Çekirdek modülü ile kullanılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Şekil 5.8 modülün ABBO ile kullanımını göstermektedir.

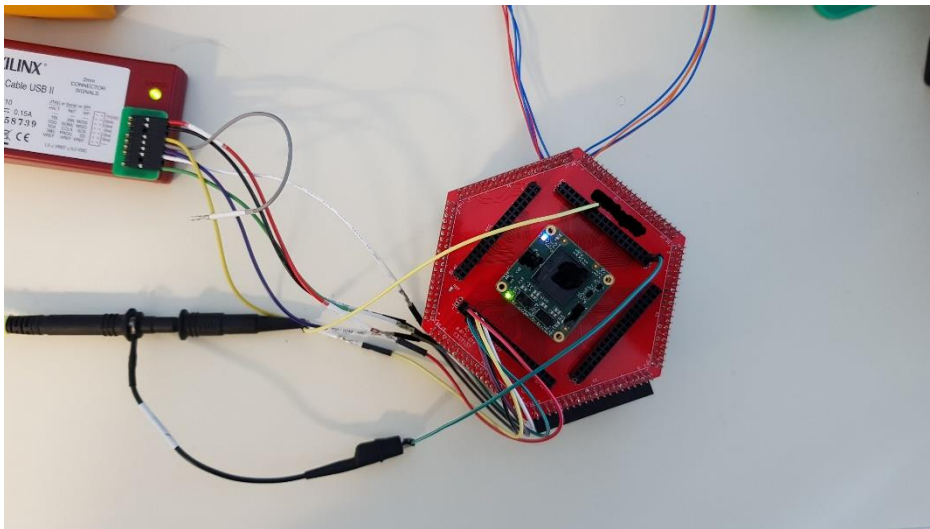


Şekil 5.8. ABBO modülünün ön ve arka görünümünü gösteren ECAD görseli

5.1.10. Akıllı çekirdek modülü

Akıllı Birim Arayüz Modülü üzerinde bulunan çekirdek arayüzüne uyumlu olan ve üzerinde bir mikrodenetleyici benzeri bir platform ve çevre elemanlarını barındıran kompakt yapıdaki bir modüldür.

US1-A kapsamında tasarlanmamış olup, COTS olarak kullanılmaktadır. İhtiyaç olması durumunda 200 hatta kadar aynı form faktörde tasarım yapılması mümkündür. Resim 5.1’de modülün ABBO üzerinde çalışması gösterilmektedir.



Resim 5.1. Çekirdek modülünün ABBO ile beraber görünümü

5.2. MYEKP Operasyonel Analizi ve Uygulamalar

Bölüm 4’te kurulan problem modeline göre teknik sistemin özellikleri iki sınıfta çalışmaktadır: anında ve maliyetsiz uyumlandırma, enstrumantasyon kalitesi. Problem modeline göre, teknik sistemi anında ve maliyetsiz uyumlandırma müdahaleleri enstrumantasyon işleminin kalitesini düşürmektedir. Teknik çalışının kökeninde ise BDKK tasarım değişikliğinin gerçekleştirilmesinin zaman alması ve maliyetli bir süreç olması yattığı tespit edilmiştir. Kalite ise hem teknik sistemin hedefi olan veri ile hem de verinin elde edilme işleminin yerine getirilmesi ile tanımlanmıştır. Buna göre geliştirilen teknik sistemin kötüleşmesi beklenen özellikleriyle iyileşmesi beklenen özelliklerinin uygulama sonrası nasıl değiştiğinin gözlemlenmesi sayesinde ARIZ’in bu uygulama özelinde sunduğu çözümlerin etkinliği konusunda fikir elde edilmesi mümkündür. Çizelge 5.2’de kullanılan parametreler için karşılaştırmalar verilmiştir.

Çizelge 5.2. Kullanılan mühendislik parametrelerinin ihtiyaç-durum karşılaştırılması

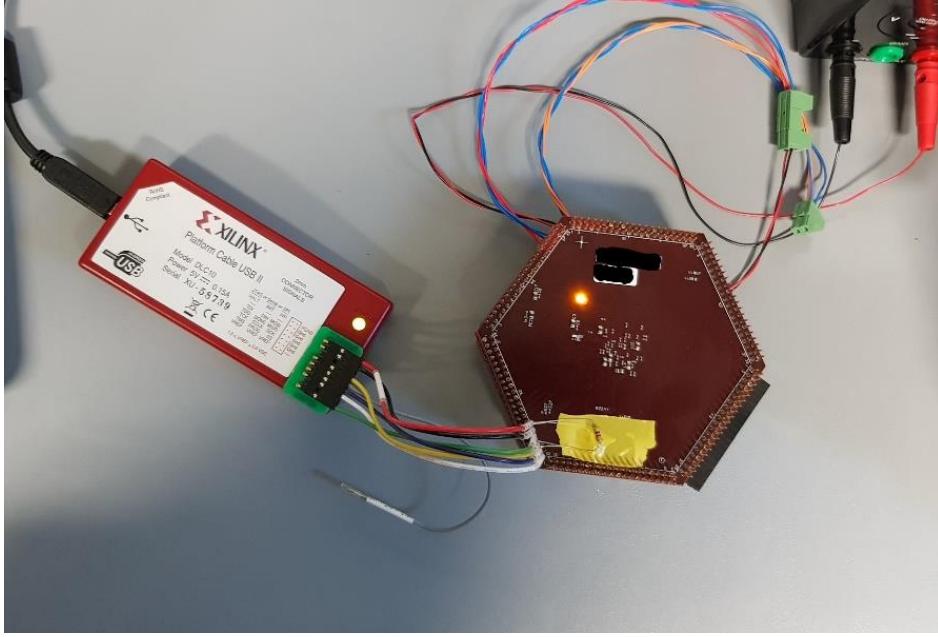
Mühendislik Parametresi	Teknik Sistem için Tanımlanan İhtiyaç	US-1A için Durum
Uyumlandırılabilirlik ve Çok Yönlülük	Anında ve maliyetsiz uyumlandırma	İşlemin tanımlanması sırasında eğer uygun bir modül yoksa tasarımı ve üretimi gerekmemekte, işlem sırasında zaman ve maliyet harcanması gerekmemektedir. Platformda zincirleme değişikliklere sebep olmadan her bir işleve göre düşük maliyetli üretim yapılabilmektedir.
Ölçüm Doğruluğu	BDKK tasarımının nihai duruma yakın olması	Teknik sistem EKE’nin birebir işlevsel kopyası olmakla beraber benzer tasarım koşullarına sahiptir.
Veri Kaybı	Topolojilerin, algoritmaların, eyleyicilerin ya da algılayıcıların çalışma ve uyumluluklarına dair verinin, gerçek durumu yansıtacak şekilde toplanması	Teknik sistem EKE’nin birebir işlevsel kopyası olmakla beraber benzer tasarım koşullarına sahiptir.
Güvenilirlik	Uzay lehim, ek kablaj, ek BDK gibi müdahalelere ihtiyaç olmaması	ABBO modülü haricinde modüller üzerinde herhangi bir müdahale yapılması gerekmemektedir. ABBO ise kablo bağlantıları güvenle yapıp kaldırılabilir.
Zaman Kaybı	Teknik sistem için ideal durumda, uyumlandırma gerektiğinde BDKK’nın yeniden tasarımı için de üretim için de zaman harcanmamalıdır.	İşlemin tanımlanması sırasında eğer uygun bir modül yoksa tasarımı ve üretimi gerekmemekte, işlem sırasında zaman ve maliyet harcanması gerekmemektedir.
Hız	Uyumlandırma ihtiyacının karşılanması için teknik sistemin geçirdiği dönüşüm sürecinin kısa bir zamanda gerçekleşmesi	Uyumlandırma işlemi teknik sistemin sadece uygun konfigürasyonda birleştirilmesi ile gerçekleştirilebilmektedir.
Verimlilik	Her bir enstrumantasyon işlemi için işlemin tanımlanmasından, verinin eldesine kadar bir zaman ve maliyet kaynakları harcanmaması	İşlemin tanımlanması sırasında eğer uygun bir modül yoksa tasarımı ve üretimi gerekmemekte, işlem sırasında zaman ve maliyet harcanması gerekmemektedir.
Kullanılabilirlik	Hem uyumlandırmanın hem de işlemin en az personel ve işlem adımı ile ek özel bir araç kullanmadan standart prosedürler ile gerçekleşmesi	EKE için tanımlanabilecek tüm enstrumantasyon işlemleri için modüllerin bir araya getirilmesi ve dış dünya arayüzlerinin yapılması yeterlidir.
Karmaşıklık	Teknik sistemini oluşturan eleman çeşitliliğinin az tutulması	Teknik sistemin işlevsel modül sayısı 7 ile sınırlı tutulmuştur.
Üretilebilirlik	Basit BDK teknolojilerinin kullanılması	AB ve GB modülleri hariç BDK üretimin gravür makinesinde ve dizgisi elle yapılabilir.

Enstrumantasyonun amacı olan verinin toplanması için “hem BDKK’nın tamamen değişmesi hem de hiç değişmemesi” prensibinden yola çıkarak ulaşılan çözüm, BDKK’nın değişmeden BDKK konfigürasyonunun değişmesi olmuştur. Bu da göstermektedir ki EKS’nin bünyesinde bulunan ve EKE’nin muhatap olduğu her işlev ile ilgili veri toplanmasını sağlayacak şekilde bir konfigürasyon hazır olarak bulunmalıdır. Hali hazırda EKS’nin işlevsel özelliklerini tekil modüllerde barındıran MYEKP’nin modüllerinin birbirinden bağımsız ya da farklı kombinasyonlarda çalışabilir olmasının bu gereksinimini yerine getirdiği değerlendirilmektedir. Bu sebeple laboratuvar ortamında şu konfigürasyonlar denenmiştir:

- Yazılım geliştirme çalışmaları için konfigürasyon (Resim 5.2)
- HTS ile akım verisi toplanması (Resim 5.3)
- HTS ile arttırımsal kodlayıcı verisi toplanması (Resim 5.4)
- HTS ile mutlak kodlayıcı verisi toplanması (Resim 5.5)
- HTS ile açık döngü DAM sürülmesi (Resim 5.6)
- Dikey istiflenmiş tam konfigürasyonun DAM kompleksinin açık döngü denetiminde kullanımı (Resim 5.7)
- Düzlemsel tam konfigürasyonun DAM kompleksinin açık döngü denetiminde kullanımı (Resim 5.8)

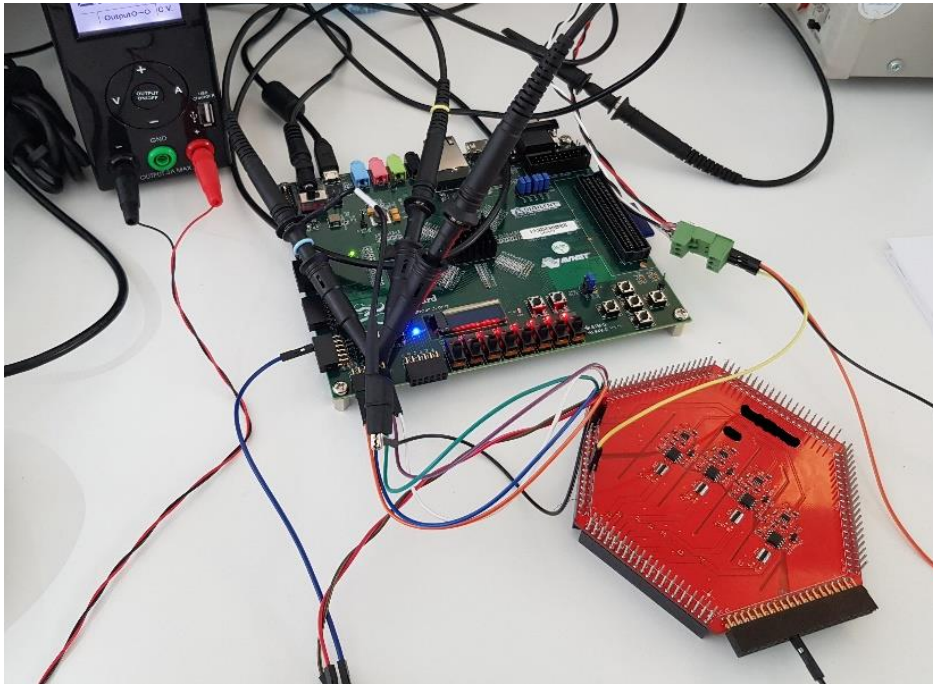
İlerleyen sayfalarda denenilen bu konfigürasyonlar sırasıyla gösterilmiştir. 5.1’den 5.6’ya kadar olan resimlerde tekil kullanım konfigürasyonları görülmekle beraber, 5.7 ve 5.8 numaralı resimlerde tam konfigürasyonlar görülebilmektedir.

Yazılım geliştirme çalışmaları için kullanılan ilk konfigürasyon Resim 5.2’de sunulmuştur. Resmin sağ ortasında, üst üste geçirilmiş AB, GB ve AY modülleri, hemen solunda programlama cihazı, sağ üstte ise güç kaynağı görülmektedir. Programlama cihazının durum LED’inin yeşil yanması, entegre ile sorunsuz bir şekilde bağlantı kurulabildiğini göstermektedir. AB üzerinde yer alan turuncu renkli LED ise entegrenin içine gömülmüş yazılımın ve belleğin olduğunu göstermektedir. AB’nin alt kısmında yer alan sarı bölge ise yalıtkan bant olup, bu deney sırasında programlama hatlarına bağlı dirençlerin değerlerinin denenmesi sırasında uzay lehim ile tutturulmuş bir direncin yalıtılması için konulmuştur.



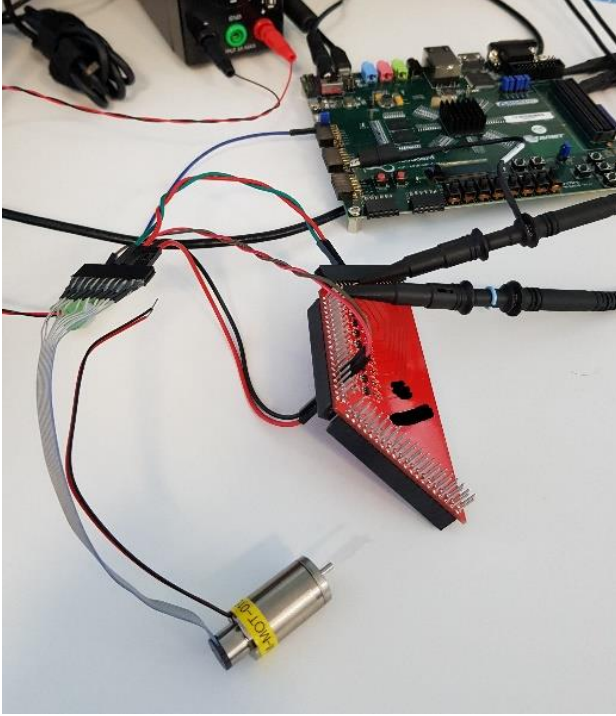
Resim 5.2. Yazılım geliştirme çalışmaları için konfigürasyon

Akım okuma işlemi için tek başına kullanılabilen GBBA Resim 5.3'de sunulmuştur. Resimde HTS olarak kullanılan ZED Board, güç kaynağı, GBBA modülü ve bağlantı ile ölçüm kablajları görülmektedir. Deneyde tek bir kanala uygulanan akımın verisi HTS ile toplanmış, osiloskop ile de sayısal hatların dalga biçimi gözlemlenmiştir.

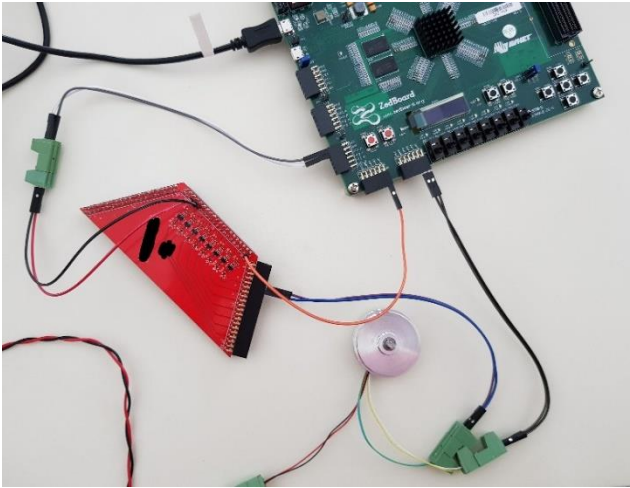


Resim 5.3. HTS ile akım verisi toplanması

Pozisyon algılayıcılarının enstrumantasyonu için tek başına kullanılabilen GBBP Resim 5.4'te sunulmuştur. Resimde yine HTS olarak kullanılan ZED Board, güç kaynağı, GBBP modülü ve bağlantı ile ölçüm kablajları görülmektedir. Ek olarak şaftına arttırımsal kodlayıcı entegre edilmiş bir DAM yer almaktadır. Deneyde kodlayıcının diferansiyel işaret ve güç hatları modüle bağlanmış, pozisyon verisi HTS ile toplanmış, osiloskop ile de sayısal hatların dalga biçimi gözlemlenmiştir. Resim 5.5'te ise mutlak kodlayıcının benzer bir şekilde kullanılması gözlemlenebilmektedir.

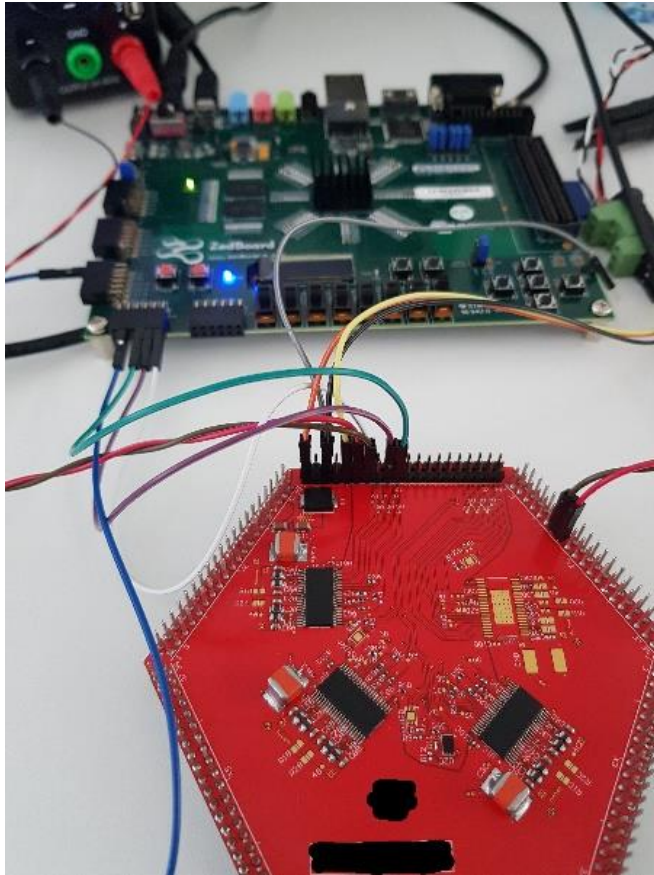


Resim 5.4. HTS ile arttırımsal kodlayıcı verisi toplanması



Resim 5.5. HTS ile mutlak kodlayıcı verisi toplanması

Motor sürme işlevlerinin enstrumantasyonu için tekil olarak kullanılabilen modüllerden olan SB, Resim 5.6'da görülmektedir. Resimde görülen SB'nin 3 kanalının dizgisinin yapıldığı bir kanalın ise boş olduğu gözlemlenebilmektedir. Bu durumun sebebi sürücü entegresinin ihtiyaç duyduğu özel soğutma yapısının BDK'da gösterilmesidir. Entegrenin ısınma karakteristiğini gerçekçi olarak görmek için, şekilde de görülen pek çok via ile katmanlar arası bağlantısı yapılan soğutma adasının bulunması gereklidir. Prototip üretimlerinde bu yapının gerçekleştirilmesi mümkün olmamakla beraber, veri toplanması için BDK üretimi ve dizgisi zorunlu olmaktadır. Resimde de tek bir DAM sürülmesi için HTS ile kurulmuş konfigürasyon görülmektedir. SB'nin üst tarafında yer alan kablajlar sayısal işaret hatları, sağ üst tarafında yer alan hatlar ise DAM faz hatlarıdır.



Resim 5.6. HTS ile açık döngü DAM sürülmesi

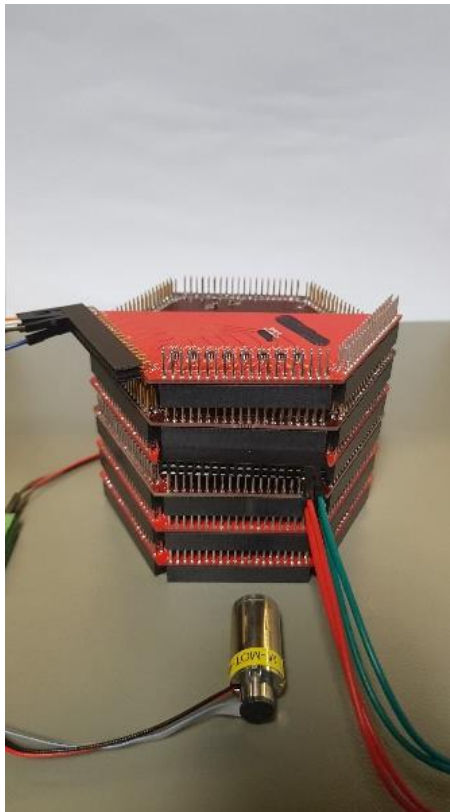
Tekil enstrumantasyon işlemleri için her bir modül HTS ile beraber tek başına kullanılabilir şekilde tasarlanmış olmasına karşın, birden fazla işlevin yerine getirilmesini gerektirecek işlemler de doğal olarak bulunmaktadır. Çizelge 5.3'te sıklıkla kullanılması muhtemel olan konfigürasyonlar görülmektedir. AB'nin işlem sırasında

işlevini yerine getirmesi için GB ve AY modülleri ile beraber kullanılması gerekmekte, bu 3'lü modül diğer işlemlerde HTS ile yer değiştirecek şekilde kullanılabilir.

Çizelge 5.3. Enstrumantasyon işlemi için kurulması gereken konfigürasyonlar

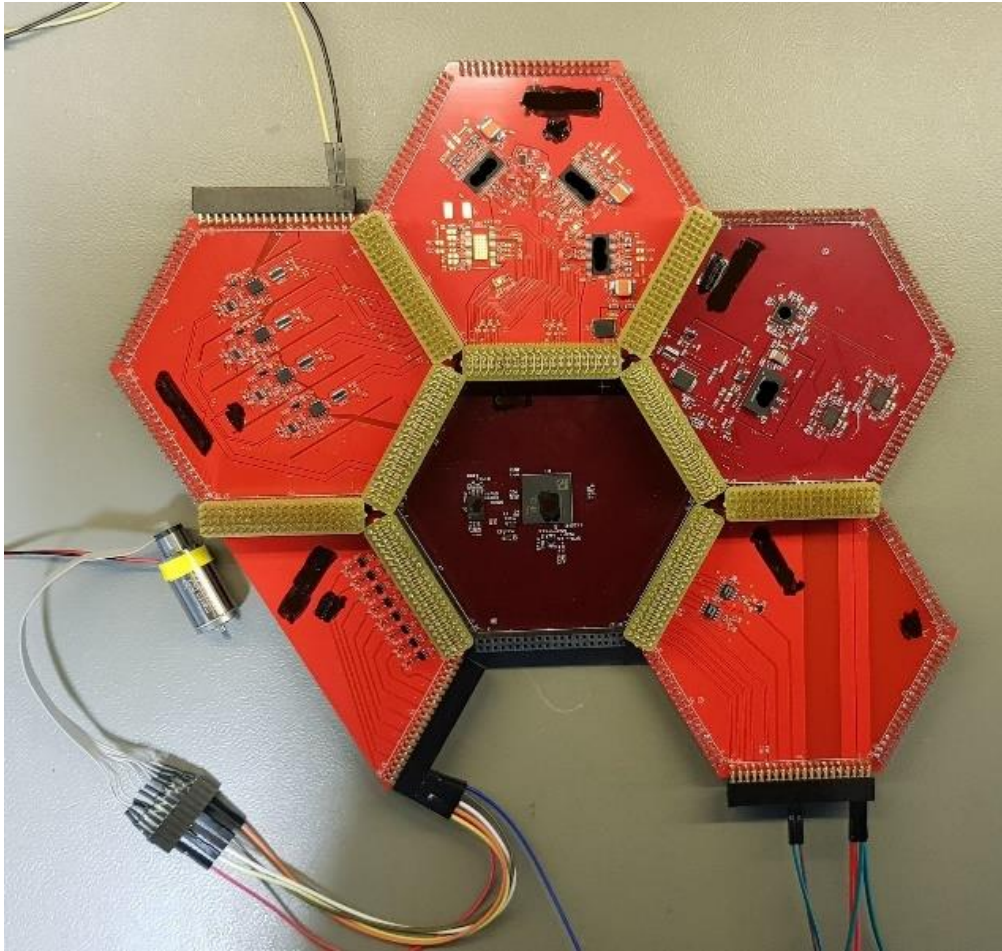
Eylem	Konfigürasyon
Tekil Yazılım Geliştirme	AB, GB, AY
Eyleyici Algılayıcıları Enstrumantasyonu	HTS, GBBP AB, GB, AY, GBBP
Açık Döngü Eyleyici Enstrumantasyonu	HTS, SB, GBBA, GBBP AB, GB, AY, SB, GBBA, GBBP
Kapalı Döngü Eyleyici Enstrumantasyonu	AB, GB, AY, SB, GBBA, GBBP

US1-A kapsamında ürettirilen tüm modüllerin dikey olarak birleştirilmesi ile bir DAM'ın kapalı döngü denetimine hazırlanması Resim 5.7'de görülmektedir. Bu konfigürasyonda tork, hız ve pozisyon denetimi yapılabilmekte, modüllerin sağlığı ile ilgili veriler toplanabilmektedir. Bu konfigürasyonda, ayrı zamanlarda farklı personeller tarafından dizilen modüllerin konektörlerinin birbirlerine oturmasında zorlanabildiği gözlemlenmiştir. Bu sorunun çözümü için bir "altın" numune kullanılması planlanmaktadır.



Resim 5.7. Dikey istiflenmiş tam konfigürasyonun DAM denetiminde kullanımı

Resim 5.7’de görülen konfigürasyon çok kısa bir sürede masaüstü çalışmalara daha uygun olan ve devre elemanlarının direkt üzerinden veri toplanmasını kolaylaştıracak yatay/düzlemsel konfigürasyona dönüştürülebilmektedir. Resim 5.8’te bu konfigürasyon gösterilmektedir. Dikey konfigürasyon ile kıyaslandığında bağlantı parçaları görülebilmektedir. Bu konfigürasyonda GBBP ve GBBA konektörlerinin birbirlerinden görece uzak kalmalarının bazı eyleyici komplelerinin faz ve işaret hattı kablajlarına ek yapılmasını gerektirebileceği düşünülmektedir.



Resim 5.8. Düzlemsel tam konfigürasyonun DAM denetiminde kullanımı

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde mühendislik çözümlerinin tasarımında yaratıcı zihin işçiliğinin niteliği ve etkinliği gittikçe önem kazanmaktadır. Yaratıcı tasarım yaklaşımları arasında ise sistematik bir yaklaşım olarak TRIZ öne çıkmaktadır. Yenilikçi Problem Teorisi olarak Türkçeleştirilen bu yaklaşım, özgünlüğü ve yenilikçiliği uygulama ile kanıtlanmış binlerce patent başvurusunun analiz edilmesi sonucunda bütün mühendislik sistemlerinin aynı sistematik değişim kanunlarını takip ettiğini, yaratıcı buluşların ise hali hazırda var olan bu evrim eğilimlerinin bir şekilde takip edilmesi ile ortaya çıkarıldığını savunmaktadır. Bu sistematik değişim kanunlarının ve eğilimlerinin tanınması, tanımlanması ve uygulanması ile ilgili yöntemleri barındıran TRIZ'in kullanılması ile herhangi birisinin problemlere yenilikçi çözümler geliştirmesi amaçlanmaktadır. Özellikle çözümü buluş ile sonuçlanacak problemler açısından zengin olan mühendislik disiplinleri tarafından sıklıkla kullanılan TRIZ'in sosyal bilimlerden de kabul gördüğü gözlemlenmektedir. TRIZ'in öne çıkan bu özellikleri, TRIZ'i araştırılmaya değer bir metodoloji olarak göz çarpmasını sağlamaktadır. Bu sebeple TRIZ'in ortaya çıkışı, gelişimi ve günümüzde nasıl ele alındığı araştırılmıştır.

Yapılan araştırma sonucunda TRIZ araçlarının bütün olarak yeterince ele alınmadığı, teorinin tamamının bazı TRIZ araçlarının gölgesinde kaldığı, Türkiye'de ise TRIZ'in yeterince ilgi görmediği gözlemlenmiştir. Bu gözlemden yola çıkarak Bölüm 2'de TRIZ'in teorik altyapısı, Altshuller'in üç önemli çalışmasındaki ana fikirler ve araçlar incelenerek bu çalışmanın öznesi olan EKS'lere TRIZ'in uygulanması için ihtiyaç duyulan metodolojik çerçeve çizilmiştir. Fakat, bu çerçevenin çizilmesine yönelik olarak bu çalışma kapsamında yürütülen TRIZ tekniği araştırmalarının Altshuller'in ortaya koyduğu bulgular sınırlı tutulması, anlaşılmasının güç olduğu ve uygulama tecrübesi gerektirdiği dile getirilen bu yaklaşımın ele alınmasını kolaylaştırırken bilim dünyası tarafından geliştirilmeye devam edilen tartışmalı da olsa güncel çalışmaların göz ardı edilmesine sebep olduğu söylenebilir. Öte yandan TRIZ'in doğru olarak kullanımı için tecrübenin kritik olduğu sıklıkla dile getirilen bir olgu olmakla beraber, bu çalışma kapsamında üzerinde çalışılan orijinal eserlerin temel kavramların ve yaklaşımların bütünsel olarak anlaşılmasına oldukça yardımcı olduğu söylenebilir. TRIZ'in benzer uygulamalarda kullanılmasında aynı yolun izlenmesi önerilmekte, ek olarak TRIZ'in metodolojisi içerisinde yer alan farklı

yaklaşımların bu alan özelinde kapsamlı olarak ele alınarak karşılaştırılmasının önemli katkılarda bulunabileceği düşünülmektedir.

Bölüm 3’de örneklendirilen kullanım durumları EKE’nin geliştirme sürecinin çevikleştirilmesine duyulan ihtiyacı göstermekte, bu ihtiyaç ise süreç boyunca ortaya çıkan değişimlere EKE’nin hızlı ve düşük maliyetle uyumun gerçekleştirilebilmesini işaret etmektedir. Çevikleşmenin ölçüsü, bu durumda enstrumantasyon işlemi döngü süresinin kısılması ve sonuca ulaşma maliyetinin azalması olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmanın süresi ve kapsamı alternatif yaklaşımların devreye alınarak karşılaştırılması için yeterli olmadığından bu gözlemi doğrulayacak verilerin toplanması mümkün olmamıştır. Fakat tespit edilmiş kullanım durumlarının bariz bir biçimde maliyetli olan ve uzun süre alacak olan adımlarının ortadan kaldırılması ya da etrafından dolaşılmasının mümkün hale gelmesi, çevikliğin niteliksel başarı kıstasları olarak değerlendirilmiştir. Niceliksel olarak ise ancak benzer sistemlerdeki tecrübelerden yola çıkarak bir kestirim yapmak mümkündür. Buna göre, platformun maliyetinin taktik kullanımda bir ürün geliştirme döngüsünün maliyetinden %20 kadar fazla olduğunu söylemek mümkündür. Yatırım maliyeti olarak değerlendirilebilecek bu kayıp ise, taktin ürünün yenilenmesine karşın platform işlevinin yenilenmesini içeren ikinci iterasyonda değişmesi gereken işleve göre %45 (basit işlevlere ait birimler) ile %15 (akıllı birim, güç birimi gibi karmaşık birimler) arasında bir kazanca dönüşecektir. Bu değerler işlevlerin kombinasyonuna ve iterasyon sayısına göre değişecek olmakla beraber, her bir iterasyondaki kazanımın orantılı olarak artacağını kesin olarak söylemek mümkündür. Döngü süresinde ise ilk iterasyonda platform ve taktik ürün arasında anlamlı bir farklılık oluşması beklenmezken, sonraki iterasyonda yine işlevlere bağlı olarak ana kıstasın devre elemanı tedarik süresi olmasından ötürü en fazla aynı sürede olmak üzere %55’e kadar da döngü süresinin kısaltılmasının mümkün olduğu söylenebilir. Örneğin uç bir tasarım kararı olan akıllı birim işlevlerinin değişmesi durumunda zaman kazanılması mümkün olmayabileceken, değişmesi daha olası olan arayüz ve ölçüm işlevlerinde %55’e kadar sürenin kısaltılması mümkün olabilecektir.

EKE’nin işlevsel analizi ise teknik bir çelişkinin söz konusu olduğunu ortaya çıkarmaktadır: En hızlı ve en maliyetsiz uyumlandırma denemeleri enstrumantasyonun kalitesini düşürmekte, en kaliteli enstrumantasyon ise uzun sürede ve yüksek maliyetle elde edilen uyumlandırma yaklaşımı ile elde edilebilmektedir. Buna göre ya hali hazırda

kullanımda olan bir EKE üzerinde değişiklikler yapılmalı, ya da her değişen enstrumantasyon durumu için yeni bir EKE tasarlanmalıdır. Bir çözüm yaklaşımı olarak ortaya çıkan bu durumun genelleştirilebilir bir prensip olarak ortaya çıkmasını sağlayacak şekilde bulguların araştırılması bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmemiştir. Farklı kurumsal birikime sahip, farklı tipte kontrol sistemleri için bu çelişkilerin ortadan kaldırılabilmesinin mümkün olabileceği değerlendirilmektedir. Ancak bu çalışmanın ortaya çıkmasını sağlayan koşullar değerlendirildiğinde, tecrübe birikiminin az ve kısıtların fazla olduğu değişken bir geliştirme ortamında vaka örneği ile ortaya çıkarılan çelişkinin çözümlenerek uygulanabilirliği tercih edilmeyecek durumdaki bir yaklaşımın uygulanabilir hale getirilmesinin ihtiyaç haline geldiği gözlemlenebilmektedir.

TRIZ'in hedef aldığı problem uzayında karmaşık olmayan problemlerden birisi olduğu ortaya çıkan söz konusu teknik çelişkinin kökeninde BDKK tasarım değişikliğinin gerçekleştirilmesinin zaman alması ve maliyetli bir süreç olması yattığı teşhis edilmiş, çelişen mühendislik problemlerine karşı standart çözüm prensipleri elde edilmiştir. Fakat elde edilen bu prensipler ARIZ'in tek bir çelişen parametre çiftine indirgeme yaklaşımı yerine, ilgi kurulabilen bütün çelişkiler bir arada değerlendirilerek tasarıma girdi olabilecek bir fikir havuzu elde edilmesi amaçlanmıştır. Bölüm 4'te ARIZ'in uygulanması ile nasıl elde edildiği anlatılan bu çözüm kavramının somutlaştırılması aşamasında tasarımcının sezgisel yeteneklerinin öne çıktığı gözlemlenmiş, literatürde de sıklıkla dile getirilen bu olgu bu çalışma kapsamında da gözlemlenmiştir. Her ne kadar daha zorlu problemler için ortaya konmuş olsa da, basit sayılabilen bir problem için de ARIZ'in kullanılmasının tasarım kararlarında sezgileri yönlendirmeye yardımcı olduğu söylenebilir. ARIZ'in kullanılmadığı durumlara göre sistematik yaklaşımın bu sürece ne kadar yardımcı olduğunun niceliksel olarak ortaya koymak mümkün olmamakla birlikte, elde edilen çözüm prensiplerinin tasarımcı algısını yönlendirmede başarılı olduğunu söylemek mümkündür.

Bölüm 5'te standart çözüm prensiplerinin bütünsel olarak ele alınması ile elde edilen özgün işlevlere sahip modüler yapıdaki platform yapısı tanıtılmış, işlevleri, özellikleri ve sınırlamaları tanımlanmıştır. Elde edilen en büyük kazanımın işlevsel birimlerin fiziksel olarak diğer birimlerden ayrılması ile tedarik sorunun izole edilmesinin mümkün hale getirilmesinin olduğu söylenebilir. Özellikle akıllı birim gibi tedariki zaman alan elemanlara sahip olan ve laboratuvar imkanları ile dizimi zor ya da imkânsız olduğundan

üretimi de zaman alan birimlerin, işlevsel olarak bağımsız olan diğer birimlerdeki değişikliklerden de bağımsız hale getirilmesi uyumlandırma sorununu basitleştirirken hızlandırılmasını da mümkün kılmıştır. EKS'ler için pek çok iterasyonun hızla tekrarlanarak nihai çözüme ulaşma amacı olarak tanımlanmış çeviklik ihtiyacının böylelikle hem zaman hem de maliyet kazancı ile elde edilebilmesi sağlanmıştır. Bu kazancı platformun tamamında değerlendirmek için sistemin kullanımda uzunca bir süre gözlemlenmesi gerekmektedir. Yürütülen deneylerde işlevsel birimlerin enstrumantasyon işlemlerinde öngörülen kazançları yerine getirdiği söylenebilir.

Elektromekanik eyleyicilerin enstrumantasyonu için gereken evrensel işlevlere sahip olan bu platform yapısının, herhangi bir endüstri alanında uygulanmasında ise bir engel öngörülmemektedir. Ancak, gereksinimlerin net olarak tanımlanabildiği ve teknolojik altyapısı iyi bilinen alanlarda ihtiyaç duyulan enstrumantasyon işlemleri için geleneksel yaklaşımların tercih edilmeye devam edilmesi önerilmektedir. Benzer sistemlerin enstrumantasyonunda ise ARIZ85-C'nin 8.3 numaralı adımı ile tespit edilen akış uygulanarak, bu çalışmada ortaya konan platform yapısının da uyumlandırılarak kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Çevikliğe ihtiyaç duyan başka donanım geliştirme süreçlerin de böylelikle durumlarına göre daha basit ya da gelişmiş sürümlerle iyileştirilmesi mümkün olabilecektir.

EKE için ortaya konmuş olan platform yapısı, bu tez kapsamında bir KTS'nin dört kanalını aynı anda kontrol edebilecek bir yapı için kurgulanarak tasarlanmıştır. Platform EKE için fiziksel ve güç kıstaslarına bağlı olarak sadece kart alanının ve modüller arası arayüzlerin sayısının değiştirilmesi ile evrensel bir uyumlandırma yapısına sahip olmuştur. Platformun bu çalışma sonucunda sahip olduğu modüller ile kavramsal tasarım aşamasında olan ve gelecekte MYEKP'nin mevcut fiziksel özellikleri ile bir parçası olması beklenen modüller Çizelge 6.1'de yer almaktadır. Her ne kadar bir elektromekanik sistemin enstrumantasyonu için geliştirilmiş olsa da, faydalanılmış evrensel özelliklerden yola çıkarak platformun benzer gömülü sistemler için de bir enstrumantasyon ve geliştirme ortamı yaratabileceğini söylemek mümkündür. Akıllı birim, güç birimi, arayüz birimi gibi ortak işlevlerin, diğer işlevlerin değişimine zemin hazırlamasıyla bu kavramsal tasarımın genişletilmesi de mümkün olacaktır.

Çizelge 6.1. Gerçekleştirilen ve gerçekleştirilmesi planlanan MYEKP birimleri

MYEKP Birimi	Gerçekleşme	Kavramsal Tasarım
Pozisyon Geri Besleme Birimi	4 kanal arttırımsal kodlayıcı	Mutlak kodlayıcı Hall Etkisi algılayıcısı
Akıllı Birim	Gömülü işlemcili FPGA platformu AB taşıyıcı arayüz kartı	Mikrodenetleyici
Arayüz Birimi	2 Kanal Half-Duplex RS485	Ethernet Wi-Fi
Güç Birimi	28V DA gerilimden 12V, 5V, 3.3V, 1.8V, 1V çevrimi	28V DA gerilimden 12V, 5V, 3.3V
Sürücü Birimi	4 kanal DAM sürücü	FDAM Piezoelektrik eyleyici RF mesafe algılayıcısı
Akım Geri Besleme Birimi	Şönt direnci	Hall Etkisi algılayıcısı
Ataletsel Geri Besleme Birimi		2 Eksen dönüölçer

Elektronik mühendisliği için çerçevesi çizilen TRIZ metodolojisinin, EKS'ler için ortaya konan ihtiyaçlara göre uygunluğu laboratuvar ortamında tanımlı enstrumantasyon girişimleri ile denenmiş, uyumlandırılabilirlik özellikleri incelenmiştir. Bu girişimler sonucunda TRIZ araçlarını derleyerek belirli bir sistematikte uygulanmasını sağlayan ARIZ'in, EKS geliştirme sürecindeki her bir iterasyonun maliyetini %45 kadar azaltarak, iterasyon döngü süresini de %55 kadar kısaltarak sürecin çevikleşmesini sağlayabilecek bir elektronik mühendisliği çözümünün ortaya çıkmasına yardımcı olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Accreditation Board for Engineering and Technology. (2017). *Criteria for Accrediting Engineering Programs*. Baltimore, 39.
2. Pant, A. K., Young, D. W., Breivogel, J. R., Volodarski, K. and Volfovski, L. (1999). *U.S. Patent No. 5,871,390*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
3. Bartel, P., Schuler, R. (1990). *U.S. Patent No. 4,941,694*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
4. Gerry, O. F. (1981). *U.S. Patent No. 4,286,391*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
5. Yarbrough, M. A., Lambert, R. E. (1999). *U.S. Patent No. 5,901,563*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
6. Baudu, P. A. M., Gonidec, P. and Vauchel, G. B. (1999). *U.S. Patent No. 5,960,626*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
7. Hua, C. T. (2006). *U.S. Patent No. 7,032,857*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
8. Pinson, G. T. (1987). *U.S. Patent No. 4,659,036*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
9. Gencer, C., Kayacan, A. (2017). Yazılım Proje Yönetimi: Şelale Modeli ve Çevik Yöntemlerin Karşılaştırılması. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10(3), 335-352.
10. Şener, S. D. (2006). *TRIZ: Yaratıcı problem çözme teorisi ve diğer problem çözme yöntemleriyle karşılaştırma*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2.
11. Cameron, G. (2010). *Trizics: Teach yourself TRIZ, how to invent, innovate and solve “impossible” technical problems systematically*. Seattle: CreateSpace Independent Publishing Platform, 4,6.
12. Pahl, A-K. (2011). *TRIZ, Buddhism and the innovation map: Applying the structure and mechanisms of the theory of inventive problem-solving and Vajrayana Buddhist meditation to innovation in engineering design*. Doctoral dissertation. The University of Bath Department of Mechanical Engineering. Bath, Birleşik Krallık. 71-75.

13. Akay, D., Demiray, A. and Kurt, M. (2008). Collaborative tool for solving human factors problems in the manufacturing environment: the Theory of Inventive Problem Solving Technique (TRIZ) method. *International Journal of Production Research*, 46(11), 2913-2925.
14. Akbulut, M. A. *Yaratıcı problem tekniğinin (TRIZ) elektrik prizleri için tasarım alanına uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
15. Albers, A., Wagner, D., Kern, L. and Höfler, T. (2014). Adaption of the triz method to the development of electric energy storage systems. *Procedia College International pour la Recherche en Productique*, 21, 509-514.
16. Aslian, A., Joo, T. C., Chong, K. K. and Toloei, A. (2016, November). Theoretical analysis of multi-energy generation in a solar energy system. In *4th IET Clean Energy and Technology Conference (CEAT 2016)* (pp. 1-8). IET, Malezya.
17. Chen, C. H., Huang, C. Y. (2015). The synergy of QFD and TRIZ for solving EMC problems in electrical products—a case study for the Notebook PC. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 32(5), 311-330.
18. Çilsal, O. O. (2005). *Yenilikçi-Yaratıcı Sorun Çözme Yaklaşımının (TRIZ) İmalat İçin Tasarım (DFM) Alanına Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
19. Durgun, İ., Öztürk, Ö., Öztürk, Ü. (2013). Soğuk Hava Koşullarında Araç Sürgülü Kapılarının Açılma Probleminin TRIZ Yaklaşımı İle Çözülmesi. *Uluslararası Katılımlı 16. Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, 442-447.
20. Dutra, F. J. B. (2016). *TRIZ Methodology Applied to Maintenance Problem Solving on Industrial Steam Systems in Africa*, Doctoral dissertation, Universidade Nova de Lisboa Faculdade de Ciencias e Tecnologia, Lizbon, Portekiz.
21. Dülger, S. (2015). *Bir mermer işletmesindeki problemlerin TRIZ yöntemi ile değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
22. Fung, K. K. K. (2010). *PEM Fuel Cells Redesign Using Biomimetic and TRIZ Design Methodologies*, Doctoral dissertation, University of Toronto, Kanada.
23. Hu, C. M., Yeh, C. H. (2011, June). The synergy of QFD and TRIZ design practice—A case study for medical care bed. In *Proceedings of 2011 International Conference on Modelling, Identification and Control* (pp. 523-531). IEEE.
24. Kantor, C. A. (2015). *Design and development of an automated pellet inspection system for nuclear fuel pellets*. University of Ontario Institute of Technology, Kanada.

25. Liu, W., Li, Z. and Wang, J. (2018). Implementing the Distribution and Application of EMD Algorithm Based on TRIZ Theory. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 439, No. 3, p. 032079). IOP Publishing.
26. Thorwaldsson, H. (2014). *Development of asphalt removing tool for a tandem roller*, Yüksek Lisans Tezi, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, İsveç.
27. Weng, Y., Wu, D. Y. (2018). Application of the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) to Creative Engineering Design for the Motor Cooling System of an Electric Vehicle. *International Journal of Systematic Innovation*, 5(1).
28. Huang, C. Y., Jan, T. J. and Yang, J. J. (2017). Application of TRIZ Theory to Solving Problems in Product Research and Development-Case Study of Probe Card Tester. In *2017 International Conference on Control, Artificial Intelligence, Robotics & Optimization (ICCAIRO)* (pp. 193-197). IEEE.
29. Rahim, Z. A., Sheng, I. L. S. and Nooh, A. B. (2015). TRIZ methodology for applied chemical engineering: A case study of new product development. *Chemical Engineering Research and Design*, 103, 11-24.
30. Su, C. T., Su, F. M. (2018). Yield Improvement in Color Filter Manufacturing Using Taguchi Methods and TRIZ's Substance-Field Analysis. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, 8(12), 2198-2212.
31. Füsün, E. (2009). *Implementation of triz methodology in human capital* Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
32. Cemgil, S. (2006) *Eğitim Standartlarının Oluşturulmasında ve Geliştirilmesinde Yaratıcı Problem Çözme Teorisi (TRIZ)*, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
33. Türkmen,Ş. (2006). *İş ve Yönetim Problemleri Çözümünde TRIZ Yaklaşımının Kullanılması Üzerine Bir Araştırma*, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
34. Ayub, N., Filmore, P. (2008). Early Experiences Employing the Matrix Principles Modified for the Communications and Electronics Domain. *ETRIA TRIZ Future Conference*, University of Twente, The Netherlands, 5-7 November 2008.
35. İnternet: Teknik yayın içeriği. Retseptor, G. (2002). Inventive principles in microelectronics. *The TRIZ Journal*, 10. URL: <https://triz-journal.com/40-inventive-principles-microelectronics/>, Son erişim tarihi: 19.09.2019
36. Wang, R. (2017). A Study on the Application of TRIZ in Innovative Design of Electronic Products. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 32(15).

37. Kang, S. W., Kim, J. S., Lee, J. Y., Krasnoslobodtsev, V. and Severinets, G. (2004). TRIZ activities in Samsung Electronics. In *Proc. International TRIZ Conference TRIZCON2004 at Seattle*.
38. Moehrle, M. G. (2005). What is TRIZ? From conceptual basics to a framework for research. *Creativity and innovation management*, 14(1), 3-13.
39. Chechurin, L. (2016). TRIZ in science. Reviewing indexed publications. *Procedia College International pour la Recherche en Productique*, 39, 156-165.
40. Ilevbare, I. M., Probert, D. and Phaal, R. (2013). A review of TRIZ and its benefits and challenges in practice. *Technovation*, 33(2-3), 30-37.
41. Lin, C. C., Lin, H. H. and Huang, K. C. (2016, November). TRIZ retrospect and prospect. In 2016 3rd International Conference on Systems and Informatics (ICSAI) (pp. 1072-1076). IEEE.
42. Abramov, O., Sobolev, S. (2019). Current Stage of TRIZ Evolution and Its Popularity. In *Advances in Systematic Creativity*, Palgrave Macmillan, 3-15.
43. Uyar, E.B., Şahin, M. ve Öztürk, N. (2018) Türkiye’de TRIZ Uygulamaları: Bir Tez Veritabanı İncelemesi. *ELECO 2018, Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı*, Bursa, 449-453.
44. Altshuller, G. S. (1999). *The innovation algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity*. Worchester: Technical innovation center, 104-116.
45. İnternet: MATRIZ tarihçesi. URL: <https://matriz.org/about-matriz/history-of-matriz/>, Son erişim tarihi: 19.09.2019.
46. İnternet: Altshuller’in eserinin künye ve tanıtım bilgileri. URL: www.amazon.com/Suddenly-Inventor-Appeared-Inventive-Problem/dp/0964074028/, Son erişim tarihi: 19.09.2019.
47. Altshuller, G. S. (2013). Ve birden mucit ortaya çıkıverdi (Çev. Akat, B.). Ankara: Elma Yayınevi. (Özgün Çalışma, 1984).
48. Spreafico, C., Russo, D. (2016). TRIZ industrial case studies: a critical survey. *Procedia College International pour la Recherche en Productique*, 39, 51-56.
49. Altshuller, G. S., Shapiro, P. B. (1956). The psychology of inventive creativity. *TRIZ Review: Journal of the International TRIZ Association*, 1(1), 6-17.
50. Altshuller, G. (1996). *And suddenly the inventor appeared: TRIZ, the theory of inventive problem solving*. Worchester: Technical Innovation Center, 4,117.

51. İnternet: Glossary of TRIZ and TRIZ-related terms. Souchkov, V. (2014). URL: http://www.xtriz.com/publications/TRIZGlossaryVersion1_0.pdf Son erişim tarihi: 19.09.2019.
52. Altshuller, G. S. (1985). *Algorithm of inventive problem solving*. Methodological materials for trainees of the seminar "Methods for solving scientific and engineering problems". St. Petersburg: Leningrad Metal Works, 123.
53. Özkan, B. (2014). Control of an Electromechanical Control Actuation System Using a Fractional Order Proportional, Integral and Derivative-Type Controller. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(3), 4493-4498.
54. Şahin, M. (2015). *Kendinden Ayarlamalı PID Kontrolör İle İki Eksenli Gimbal Uygulaması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
55. Akkal, E. (2003). *Control actuation systems and seeker units of an air-to-surface guided munition*, Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,1.
56. Mutlu, Deniz. (2015) *Platform Motion Disturbances Decoupling by Means Of Inertial Sensors for a Motion Stabilized Gimbal*,Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
57. Fernandez, D. J., Fernandez, J. D. (2008). Agile project management—agilism versus traditional approaches. *Journal of Computer Information Systems*, 49(2), 10-17.
58. Özyay, Seda. (2018). *Hidden Failure Factors Analysis of Software Projects Developed with Agile Project Management by Data Mining Techniques*, Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
59. İnternet: “potansiyel” kelime anlamı. URL: <http://www.tubaterim.gov.tr>, Son erişim tarihi: 19.09.2019.

EKLER

EK-1. ARIZ Tabloları

Çizelge 1. 1956 yılında önerilen problemin yaratıcı olarak çözülme süreci

Aşama	Adımlar
1) Analiz Aşaması	a) Bir problemin seçilmesi b) Sorunun anahtarının tanımlanması c) Temel çelişkinin saptanması d) Çelişkilerin kök nedeninin belirlenmesi
2) Operasyonel Aşama	a) Tipik çözümlerin (prototiplerin) araştırılması: i) Doğada kendiliğinden oluşanlar ii) Diğer teknoloji alanlarında kullanılanlar b) Değişikliklerle yeni çözümlerin aranması: i) Sistemin içerisinde ii) Sistemin çevresinde iii) Komşu/Ardışık sistemlerde
3) Sentez Aşaması	a) Sistemde fonksiyonel değişiklikler yapılması b) Sistemin kullanım şeklindeki değişime dayanarak sistemde fonksiyonel değişiklikler yapılması c) Ülkenin diğer teknolojik problemleri çözmek için ne kadar uygulanabilir olduğunun sınanması d) Elde edilen buluşun değerlendirilmesi

EK-1. (devam) ARIZ Tabloları

Çizelge 2. ARIZ-61 bölümleri ve uygulama basamakları [44:104-106].

Ana Aşamalar	Uygulama Basamakları
Analiz Aşaması	1- Problemin tanımlanması. 2- İdeal Nihai Sonucun (IFR) tahayyül edilmesi 3- Sonucun eldesinin önündeki engellerin (çelişkilerin) belirlenmesi 4- Engelin (çelişkinin) kök sebebinin tespiti 5- Engellerin etkilerini ortadan kaldıracak durumların tespiti
Uygulama Aşaması	1- Nesne üzerinde değişiklik yapma imkanlarının araştırılması 2- Nesnenin birbirinden bağımsız parçalara ayrılma imkanının araştırılması 3- Nesnenin bulunduğu ortama müdahale imkanının araştırılması 4- Nesnenin etkileşimde bulunduğu nesnelere müdahale imkanının araştırılması 5- Öteki endüstri kollarındaki prototiplerin araştırılması 6- Orijinal probleme geri dönülerek tanımın gözden geçirilmesi
Sentez Aşaması	1- Nesnenin şeklinin değiştirilmesi 2- İyileştirilmekte olan nesne ile etkileşimde olan diğer nesnelerin değiştirilmesi 3- Nesnenin işlevselliğine yönelik değişikliklerin araştırılması 4- Keşfedilen prensibin diğer teknik problemlere de uygulanmasının araştırılması

EK-1. (devam) ARIZ Tabloları

Çizelge 3. ARIZ-71 bölümleri ve uygulama basamakları [44:110-119].

Ana Aşamalar	Uygulama Basamakları
Bölüm 1: Problemin Seçilmesi	1-1: Çözümün nihai hedefinin belirlenmesi 1-2: Sorunun çözümünün imkansız olduğu hayal edilerek tali yol olabilecek daha genel bir problemin araştırılması 1-3: Orijinal ve tali problemlerden hangisinin çözüm için daha anlamlı olduğunun belirlenmesi 1-4: Gereksinim duyulan nicel özelliklerin belirlenmesi 1-5: Nicel özelliklere zaman düzeltmesinin eklenmesi 1-6: Buluşun çalışacağı özel koşullar için gereksinimlerin tanımlanması
Bölüm 2: Problem Tanımının Kesinleştirilmesi	2-1: Patent bilgisinin kullanılarak problem tanımının kesinleştirilmesi 2-2: BZM (Boyut, Zaman, Maliyet / STC) operatörünün kullanılması 2-3: Problem koşullarının sistem elemanları (a) ve eleman etkileşimleri açısından(b) iki ifade ile tanımlanması 2-4: Adım 2-3a'da tanımlanan elemanların değiştirilebildiklerine göre tasniflenerek tablo haline getirilmesi 2-5: Adım 2-4'de tanımlanan elemanlardan değiştirilmesi, ayarlanması ya da yeniden tasarlanması en kolay olanının seçilmesi
Bölüm 3: Analiz Aşaması	3-1: İdeal Nihai Sonucun (IFR / Ideal Final Result) uygun formatta formülasyonu 3-2: IFR'a göre ilk durumun ve son durumun resmedilmesi 3-3: İdeal resimde ihtiyaç duyulan eylemi istenen koşullarda gerçekleştiremeyen elemanın tespiti ve vurgulanması 3-4: Elemanın ihtiyaç duyulan eylemi neden gerçekleştiremediğinin tespiti 3-5: Elemanın hangi koşullarda ya da hangi özelliklere sahip olarak ihtiyaç duyulan eylemi gerçekleştirebileceğinin tespiti 3-6: Adım 3-5'te tespit edilen özellik ya da koşulların gerçekleştirilmesi için neler yapılması gerektiğinin tespiti 3-7: Pratik olarak gerçekleştirilmesi mümkün olan kavramların formüle edilerek, en çok umut vadeden başlayarak bütün kavramların numaralandırarak yazılması 3-8: İlk kavramın gerçekleştirilebilmesi için bir şemanın ortaya konması

EK-1. (devam) ARIZ Tabloları

Çizelge 3. (devam) ARIZ-71 bölümleri ve uygulama basamakları [44:110-119].

Bölüm 4: Ulaşılan Kavramın Öncül Analizi	4-1: Ulaşılan çözüm kavramının uygulanmasında iyileşen ve kötüleşen durumların, elde edilen kazanımların, karmaşıklaşan ya da pahalılaşan elemanların not alınması 4-2: Önerilen metodun ya da cihazın değiştirilmesi ile kötüleşen özelliklerin engellenmesi mümkün ise, değişen metodun/cihazın çizilmesi 4-3: Yeni durumda kötüleşen özelliklerin tespiti 4-4: Kazançların ve kayıpların karşılaştırılması (Kazançlar baskınsa Bölüm 6'ya ilerlenir, kayıplar baskınsa Adım 3-1'e dönülür. İkincil analiz de orijinal analizin yapıldığı kağıda kaydedilerek Adım 4-5'e ilerlenir.) 4-5: Mevcut durumda kazançlar kayıplara baskınsa Bölüm 6'ya ilerlenir, ikincil analiz de yeni bir sonuç üretmediyse Adım 2-4'e geri dönülerek tablo kontrol edilir. Adım 2-5'teki diğer elemanlar seçilerek yeni bir analiz süreci başlatılır.
Bölüm 5: Uygulama Aşaması	5-1: Çelişkiler Matrisinin sütunlarından iyileştirilmesi zorunlu olan özelliğin seçilmesi 5-2: Kayıplar gözetilmeden söz konusu özelliğin nasıl geliştirebileceğinin araştırılması (a) ve bu aracın kullanılması durumunda hangi özelliğin kabul edilemez hale geldiğinin tespiti (b) 5-3: Çelişkiler Matrisinin satırlarından Adım 5-2b'de tespit edilen özelliğin seçilmesi 5-4: Teknik çelişkiyi ortadan kaldıran prensibin matrisin seçilen sütun ve satırlarının kesişiminden tespiti 5-5: Tespit edilen prensiplerin nasıl kullanılabileceğinin araştırılması 5-6: Fiziksel olayların ve etkilerin kullanılma imkanının araştırılması 5-7: Eylemin gerçekleşme zamanlaması ve süresinin nasıl değiştirilebileceğinin araştırılması 5-8: Benzer sorunların doğada nasıl çözüldüğünün araştırılması 5-9: İyileştirilen nesne ile bağlantılı olarak çalışan nesnelerde de değişiklik yapma imkanının araştırılması (Çözüm halen elde edilemediyse Adım 1-3'e dönülür, çözüm sağlandıysa Bölüm 4'e dönülerek elde edilen çözüm değerlendirilir ve ardından Bölüm 6'ya ilerlenir)
Bölüm 6: Sentez Aşaması	6-1: Değiştirilen sistemin ait olduğu üst sistemin nasıl değiştirilmesi gerektiğinin belirlenmesi 6-2: Değiştirilen sistemin farklı olarak nasıl kullanılabileceğinin araştırılması 6-3: Bulunan yeni teknik fikrin ya da bu fikrin zıttının diğer teknik problemlerde kullanılması

EK-2. Çelişki Matrisi

Altshuller'in "Yenilik Algoritması" çalışmasının Sistem Yayıncılık tarafından yayınlanan 2013 tarihli Sinan GÜRTUNCA çevirisinin ekinde çelişkiler matrisi yer almaktadır. Bu ekte de sırasıyla, mühendislik parametrelerine, yaratıcı prensiplere ve matrise yer verilmiştir. Kullanıcılar için Türkçe çevirinin teknik olarak gözden geçirilmesi önerilmekle beraber, mümkün ise eserin İngilizce sürümüne başvurulması önerilmektedir.

Çizelge 1. Mühendislik parametreleri.

No	Mühendislik Parametreleri	No	Mühendislik Parametreleri
1	Hareketli bir nesnenin ağırlığı	21	Güç
2	Hareketsiz bir nesnenin ağırlığı	22	Enerji kaybı
3	Hareketi bir nesnenin boyu	23	Madde kaybı
4	Hareketsiz bir nesnenin boyu	24	Bilgi kaybı
5	Hareketli bir nesnenin kapladığı alan	25	Zaman kaybı
6	Hareketsiz bir nesnenin kapladığı alan	26	Madde miktarı
7	Hareketli bir nesnenin hacmi	27	Güvenilirlik
8	Hareketsiz bir nesnenin hacmi	28	Ölçüm doğruluğu
9	Hız	29	İmalat doğruluğu
10	Kuvvet	30	Bir nesneyi dışarıdan etkileyen zararlı unsurlar
11	Gerilim/Basınç	31	Nesnenin oluşturduğu zararlı unsurlar
12	Şekil	32	Üretilebilirlik
13	Sıkışma Sabitliği	33	Kullanılabilirlik
14	Sağlamlık	34	Onarılabirlik
15	Hareketi bir nesnenin eylem zaman	35	Uyarlanabilirlik
16	Hareketsiz bir nesnenin eylem zaman	36	Cihazın karmaşıklığı
17	Isı	37	Kontrol karmaşıklığı
18	Parlaklık	38	Otomasyon seviyesi
19	Hareketi bir nesnenin tükettiği enerji	39	Kapasite/Verimlilik
20	Hareketsiz bir nesnenin tükettiği enerji		

EK-2. (devam) Çelişki Matrisi

Çizelge 2. Yaratıcı Prensipler.

No	Mühendislik Parametreleri	No	Mühendislik Parametreleri
1	Parçalara Ayırma	21	Hızlı Davranma
2	Özütleme	22	Zararı Yarara Dönüştürme
3	Kısmi Kalite	23	Geri Besleme
4	Asimetri	24	Aracı
5	Birleştirme	25	Self Servis
6	Evrensellik	26	Kopyalama
7	İç içe Yerleştirme (Matruşka)	27	Kullanıp Atma
8	Denge Ağırlığı	28	Mekanik Sistemin Değiştirilmesi
9	Ön Karşı Hareket	29	Pnömatik veya Hidrolik Yapı
10	Önceden Yapma	30	Esnek Membranlar (Diyaframlar) veya İnce Filmler
11	Önceden Önlem Alma	31	Gözenekli Malzeme
12	Espotansiyellik	32	Renk Değiştirme
13	Tersten Yapma	33	Homojenlik
14	Küresellik	34	Parçaları Çıkarma ve Yeniden Yapma
15	Dinamiklik	35	Özelliklerin Dönüştürülmesi
16	Kısmi veya Aşırı Çalışma	36	Aşama Geçiş
17	Yeni Bir Boyuta Geçiş	37	Termal Genleşme
18	Mekanik Titreşim	38	Hızlandırılmış Oksitlenme
19	Periyodik Çalışma	39	Atıl Ortam
20	Faydalı Çalışmanın Sürekliliği	40	Kompozit Malzemeler

EK-2. (devam) Çelişki Matrisi

Çizelge 3. Çelişkiler Matrisi.

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

EK-2. (devam) Çelişki Matrisi

Çizelge 3. (devam) Çelişkiler Matrisi.

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

EK-2. (devam) Çelişki Matrisi

Çizelge 3. (devam) Çelişkiler Matrisi.

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

EK-2. (devam) Çelişki Matrisi

Çizelge 3. (devam) Çelişkiler Matrisi.

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

EK-2. (devam) Çelişki Matrisi

Çizelge 3. (devam) Çelişkiler Matrisi.

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

EK-2. (devam) Çelişki Matrisi

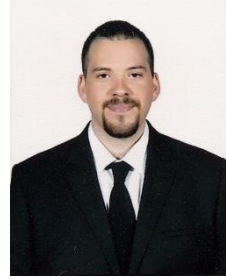
Çizelge 3. (devam) Çelişkiler Matrisi.

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

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : UYAR, Ekrem Bilgehan
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 1990, İstanbul
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0312 860 55 00



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Bilkent Üniversitesi / Elektrik ve Elektronik Mühendisliği	2013
Lise	Gazi Anadolu Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	Roketsan A.Ş.	Uzman Mühendis
2013-2017	Roketsan A.Ş.	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Uyar, E.B., Şahin, M. Ve Öztürk, N. (2018) Türkiye’de TRIZ Uygulamaları: Bir Tez Veritabanı İncelemesi. *ELECO 2018, Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı*. 449-453.

Hobiler

Sosyoloji, felsefe, doğa yürüyüşü, fotoğrafçılık, müzik

DİZİN

A

Analiz · 2, 8, 14, 20, 22, 23, 30,
47, 48, 53, 63, 101
ARGE · 3, 15, 16
ARIZ · 13, 15, 21, 23, 24, 25, 26,
27, 30, 47, 63, 64, 65, 66, 99,
100, 101
ARIZ-61 · 23, 25, 99
ARIZ-71 · 23, 25, 100, 101
ARIZ-85C · 23, 25, 26, 27, 47

B

Buluşçuluk · 8
BZM · 100

C

Çatışma · 26
Çin · 12, 16

E

Elektromanyetik · 49, 51

I

İdeal Nihai Sonuç · 29
İdeallik · 11
IFR · 11, 22, 26, 99, 100

K

Kontrol · 1, 2, 22, 33, 34, 37, 39,
40, 41, 45, 47, 61, 63, 64, 101
Kore · 12, 15
KTS · 33

M

Madde-Alan · 23, 26, 29
Mekanik · 49, 50, 58, 59

P

Psikolojik · 3, 18, 20, 22, 23

Q

QFD · 14

S

S-eğrisi · 12
Sentez · 20
Sezgi · 24
STC · 100

T

Trimming · 11

U

Ulusal Tez Merkezi · 18



GAZİ GELECEKTİR..