



**İNOVATİF DEMİRYOLU YOL MUAYENE VE ÖLÇÜM ARACI
TASARIMI**

Sezer ÖZGÜN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2024

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.

Sezer ÖZGÜN

13 / 07 / 2024

İNOVATİF DEMİRYOLU YOL MUAYENE VE ÖLÇÜM ARACI TASARIMI
(Yüksek Lisans Tezi)

Sezer ÖZGÜN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2024

ÖZET

Demiryolları çevre dostu, ekonomik ve güvenilir olmasının yanı sıra enerji verimliliği ve taşıma kapasitesinin yüksek olması nedeniyle bir ulaşım seçeneği olarak tercih edilmektedir. Son yıllarda, Türkiye'de de yüksek hızlı tren ve konvansiyonel tren ağlarının genişletilmesi için önemli projeler hayata geçirilmiştir. Artan demiryolu hattı uzunluğu ile birlikte, emniyetli, güvenilir ve sürdürülebilir bir demiryolu işletmeciliği için düzenli olarak yapılan demiryolu hattı ölçümleri daha da kritik hale gelmiştir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında, demiryolu hattının ve rayların geometrik bozulmalarını belirlemek için demiryolu ölçüm ve muayene aracı kavramsal tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu tasarım işlemi Pahl ve Beitz'in sistematik tasarım yaklaşımı esas alınarak yapılmıştır. Yenilikçi, değerli ve müşteri odaklı bir tasarım oluşturmak için kavramsal tasarım adımlarında Kalite Fonksiyonu Yayılımı (KFY), Yaratıcı Problem Çözme Teorisi (TRIZ/TIPS) ve Değer Mühendisliği (DM) gibi metodolojilerden yararlanılmıştır. KFY kullanılarak müşteri talepleri tasarım parametrelerine dönüştürülmüş ve önemli tasarım problemleri belirlenmiştir. TRIZ/TIPS kullanılarak yenilikçi tasarım özellikleri tanımlanmış ve problemler için yaratıcı çözüm ilkeleri önerilmiştir. DM'nin önemli adımlarından biri olan fonksiyon analizi kullanılarak fonksiyon ilişkileri geliştirilmiş ve değer analizi için kritik fonksiyonlar belirlenmiştir. Bu metodolojilerin kullanımı, demiryolu ölçüm ve muayene aracının etkin bir şekilde tasarlanmasına katkı sağlamıştır.

Bilim Kodu : 91406
Anahtar Kelimeler : Kavramsal tasarım, Kalite Fonksiyonu Yayılımı, Yaratıcı Problem Çözme Teorisi, Değer Mühendisliği
Sayfa Adedi : 81
Danışman : Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ

INNOVATIVE RAILWAY INSPECTION AND MEASUREMENT TROLLEY DESIGN

(M. Sc. Thesis)

Sezer ÖZGÜN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2024

ABSTRACT

Railways are preferred as a transportation option due to their environmentally friendly, economical, and reliable nature, coupled with high energy efficiency and transport capacity. In recent years, significant projects have been implemented in Turkey to expand high-speed and conventional railway networks. With the increasing length of railway lines, regular railway track measurements have become critically important for safe, reliable, and sustainable railway operation. Therefore, within the scope of this study, the conceptual design of a railway measurement and inspection trolley has been carried out to identify geometric irregularities in railway tracks and rails. This design process was based on the systematic design approach of Pahl and Beitz. Methodologies such as Quality Function Deployment (QFD), Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ/TIPS), and Value Engineering (VE) were utilized to create an innovative, valuable, and customer-oriented design during the conceptual design phases. QFD was used to translate customer requirements into design parameters and identify significant design issues. TRIZ/TIPS was used to define innovative design features and propose creative solution principles for identified problems. Function analysis, an important step in VE, was used to develop function relationships and determine critical functions for value analysis. The application of these methodologies contributed to the effective design of the railway measurement and inspection trolley.

Science Code : 91406

Key Words : Conceptual design, Quality Function Deployment, Theory of Inventive Problem Solving, Value Engineering

Page Number : 81

Supervisor : Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli bilgi ve birikimleri ile desteğini esirgemeyen, deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ'ye, yüksek lisans tezimin hazırlanması sürecinde beni her zaman destekleyen sevgili eşim Elif ÖZGÜN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISATMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	7
2.1. Demiryolu Ölçüm Araçları	7
2.2. Tasarım Yöntemleri	11
2.2.1. Sistematiik tasarım.....	12
2.2.2. Değer mühendisliğı (DM).....	14
2.2.3. Yaratıcı problem çözme teorisi (TRIZ/TIPS)	17
2.2.4. Kalite fonksiyonu yayılımı (KFY).....	18
3. KAVRAMSAL TASARIM (KT).....	25
3.1. Tasarım Şartnamesi.....	25
3.2. Fonksiyon Şeması	27
3.3. Alt ve Genel tasarımlar	28
3.4. Ön Değerlendirme.....	29
3.5. Önemli Tasarımlar	30
3.6. Ek Seçim İşlemleri.....	32
3.7. Değerlendirme ve Son Karar	34

4. KAVRAMSAL TASARIMDA YARATICI YÖNTEMLER KULLANILMASI.....	35
4.1. Yaratıcı Yöntemler.....	35
4.2. Teknolojik Dönüşüm Kanunları	35
4.3. Kalite Evi	37
4.4. Çelişki Matrisi ve Yaratıcı Prensipler.....	38
4.5. Kaynak Analizi	39
4.6. Fonksiyon Analizi ve FAST Diyagramı	42
4.7. Bilimsel Etkiler	43
5. DEMİRYOLU ÖLÇÜM VE MUAYENE ARACI TASARIMI	45
5.1. Demiryolu Ölçüm ve Muayene Aracı Tasarım Şartnamesi.....	45
5.1.1. Piyasa araştırması.....	45
5.1.2. Teknolojik dönüşüm kanunlarının uygulanması.....	45
5.2. Önemli Problemlerin Belirlenmesi	47
5.2.1. Mudge matrisi oluşturulması	47
5.2.2. Kalite evi oluşturulması	49
5.2.3. Teknik çelişkiler ile çözüm ilkelerinin belirlenmesi.....	50
5.2.4. Kaynak analizinin yapılması.....	50
5.3. Fonksiyon Analizi.....	52
5.3.1. Fonksiyon tanımlama.....	52
5.3.2. Fonksiyon sınıflandırma	53
5.3.3. Fonksiyon ilişkilerini geliştirme	53
5.3.4. Fonksiyon maliyetlerini belirleme	54
5.3.5. Fonksiyon iyileştirme potansiyellerini belirleme.....	54
5.4. Demiryolu Ölçüm ve Muayene Aracı Alt ve Genel Tasarımları.....	55

	Sayfa
5.5. Demiryolu Ölçüm ve Muayene Aracı Tasarımı Ön Değerlendirmesi	57
5.6. Demiryolu Ölçüm ve Muayene Aracının Önemli Tasarımları	57
5.7. Demiryolu Ölçüm ve Muayene Aracı Tasarımı Ek Seçim İşlemleri	59
5.8. Tasarım Seçenekleri Değerlendirme ve Son Karar	60
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	65
EKLER.....	73
EK-1. Seçilen tasarım yöntemlerinin karşılaştırılması	74
EK-2. Ekartman ve dever ölçüm aleti kavramsal tasarımı	75
EK-3. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı tasarımı.....	77
ÖZGEÇMİŞ	81

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Ekartman ve dever ölçüm aleti tasarım şartnamesi	27
Çizelge 3.2. Ekartman ve dever ölçüm aletine ait tasarım varyantları	29
Çizelge 3.3. Önemli tasarım seçeneklerinin karşılaştırması	32
Çizelge 4.1. Teknik sistemler için kaynak örnekleri.....	40
Çizelge 5.1. Mevcut demiryolu yol geometrisi ölçüm arabası özellikleri	46
Çizelge 5.2. Teknolojik dönüşüm kanununa göre önemli tasarım ölçütleri	47
Çizelge 5.3. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için tasarım şartnamesi	48
Çizelge 5.4. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için Mudge matrisi.....	48
Çizelge 5.5. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için Kalite evi	49
Çizelge 5.6. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı teknik çelişkileri için çözüm ilkeleri tanımları.....	51
Çizelge 5.7. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için kullanılabilir kaynaklar.....	51
Çizelge 5.8. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için fonksiyonlar.....	53
Çizelge 5.9. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için fonksiyon maliyetleri.....	54
Çizelge 5.10. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için uygulanabilir çözüm seçenekleri.....	55
Çizelge 5.11. Bilimsel etkiler veri tabanı kullanılarak bulunan çözüm ilkeleri.....	55
Çizelge 5.12. Önemli demiryolu ölçüm ve muayene aracı tasarımlarının karşılaştırılması	58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Demiryolu hattının zamana göre bozulma eğilimi	1
Şekil 1.2. Ürün yaşam döngüsünde kaynak tasarrufu sağlama potansiyeli	3
Şekil 2.1. Sistematik tasarım işlem basamakları.....	13
Şekil 2.2. DM akış şeması.....	16
Şekil 3.1. KT sürecine ait akış şeması	26
Şekil 3.2. Ekartman ve dever ölçüm aletine ait tüm fonksiyon şeması	28
Şekil 3.3. Ekartman ve dever ölçüm aletine ait fonksiyon şeması.....	28
Şekil 3.4. Ekartman ve dever ölçüm aletine ait morfolojik kart	29
Şekil 3.5. Ekartman ve dever ölçüm aleti için seçim kartı.....	30
Şekil 3.6. Ekartman ve dever ölçüm aleti tasarımına ait değer profili grafiği	34
Şekil 4.1. KT sürecinde yaratıcı yöntemler kullanılması.....	36
Şekil 4.2. Kalite evinin genel yapısı	38
Şekil 4.3. Çelişki matrisi.....	39
Şekil 4.4. Mükemmelliğin gelişim eğilimi ve kaynak tüketimi ilişkisi	41
Şekil 4.5. a) Kaynak analizi adımları, b) Kavram geliştirme adımları	42
Şekil 5.1. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için korelasyon matrisi	50
Şekil 5.2. Demiryolu muayene ve ölçüm aracı için morfolojik kart.....	56
Şekil 5.3. Demiryolu muayene ve ölçüm aracı için seçim kartı	57
Şekil 5.4. Demiryolu muayene ve ölçüm aracı için değer profili diyagramı	60

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Yol kayıt araçları (TRV) a) Geismar Eye Dragon, b) Plasser-Theurer EM 160, c) Mermec Roger 400, d) Harscorail TGIV	8
Resim 2.2. Araç üstü durum izleme sistemleri (CMS), a) Ensco-Yol geometrisi ölçüm sistemi, b) Mermec-Ataletsel ölçüm sistemi, c) Tvema-Yol geometrisi değerlendirme sistemi	8
Resim 2.3. Karayolu-Demiryolu (Hi-Rail) araçları; a) Ensco, b) Goldschmidts, c) Harscorail.....	8
Resim 2.4. Demiryolu arabaları, a) Krab NCI, b) Goldschmidts TSP, c) Donfabs & Consillia PTST, d) Selectravisoin Track T2, e) Amberg GRP 100, f) Geismar Emerald.....	9
Resim 3.1. Önemli tasarım seçenekleri (Seçenek-2)	31
Resim 3.2. Önemli tasarım seçenekleri (Seçenek-3)	31
Resim 3.3. Önemli tasarım seçenekleri (Seçenek-5)	32
Resim 5.1. Kavramsal tasarım varyantı (Seçenek-1).....	58
Resim 5.2. Kavramsal tasarım varyantı (Seçenek-5).....	58
Resim 5.3. Kavramsal tasarım varyantı (Seçenek-6).....	59

SİMGELER VE KISATMALAR

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

Simgeler

kg	Kilogram
kWh	Kilowatt.saat
mm	Milimetre
m	Metre
TL	Türk Lirası
°	Derece
°C	Santigrat Derece

Kısaltmalar

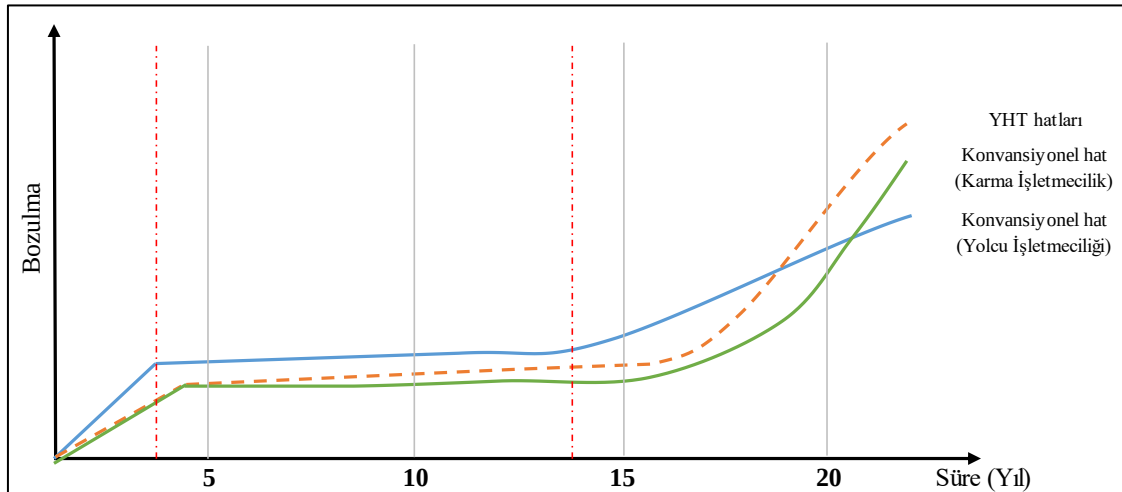
Açıklamalar

DA	Değer Analizi
DM	Değer Mühendisliği
FAST	Fonksiyon Analiz Sistem Tekniği
KFY	Kalite Fonksiyonu Yayılımı
KT	Kavramsal Tasarım
SAVE	Amerikan Değer Mühendisliği Topluluğu
TRIZ/TIPS	Yaratıcı Problem Çözme Teorisi

1. GİRİŞ

Demiryolları, güvenli, konforlu, ekonomik ve çevre dostu bir ulaşım sistemi olduğu için ulaşım sektöründe önemli bir yer tutmaktadır. Ülkemizde son yıllarda, Cumhuriyetin ilk yıllarındaki gibi, demiryolu hatlarının genişletilmesi için önemli adımlar atılmaktadır. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) tarafından yayımlanan 2023 yılı faaliyet raporuna göre [1], Türkiye'de şu anda 11668 km konvansiyonel demiryolu, 2032 km yüksek hızlı tren ve 219 km hızlı tren olmak üzere toplam 13919 km demiryolu hattı bulunmaktadır. Ayrıca, bu rakama ilave olarak 2053 yılına kadar toplam 8554 km demiryolu hattı yapılması planlanmaktadır [2].

Yeni yapılan bu hatların işletmeye alınmasıyla birlikte, emniyetli, güvenilir ve sürdürülebilir bir demiryolu taşımacılığı için bakım faaliyetleri büyük önem taşımaktadır. Çünkü bu hatların ilk işletmeye alınmasıyla birlikte oluşabilecek bozulmalar, işletme açısından ciddi riskler oluşturmaktadır. Genellikle bu tür bozulmaların ilk aşamasında, ilk 2-3 yıl içinde önemli geometrik değişimler yaşanmakta; ikinci aşamada ise sonraki 10 yıl boyunca küçük geometrik değişimler devam etmektedir. Üçüncü ve son aşamada ise altyapı malzemelerindeki aşınmalar nedeniyle hızlı bir bozulma eğilimi gözlemlenmektedir (Şekil 1.1) [3].



Şekil 1.1. Demiryolu hattının zamana göre bozulma eğilimi [3]

Geometrik değişimler, özellikle birinci ve üçüncü aşamalarda demiryolu işletmeciliği açısından önemli riskler içerir. Bu nedenle, demiryolu işletmecileri tarafından hatlardaki

geometrik değişimleri izlemek, ölçmek ve gerekli değerlendirmeleri yapmak için özel olarak tasarlanmış ölçüm araçları kullanılmaktadır. Bu bağlamda bu tez de demiryolu hatlarındaki geometrik bozulmaları ölçmek için kullanılacak özgün bir “Demiryolu muayene ve ölçüm aracı/arabası” kavramsal tasarım (ön tasarım) çalışmasını içermektedir.

Tasarım süreçlerinde, müşteri istekleri ve ihtiyaçlarına uygun, ekonomik ve yenilikçi tasarımlar oluşturabilmek oldukça önemlidir. Bu sürecin daha verimli yönetilmesi ve ürünün teknik ve ekonomik açıdan daha uygun hale getirilmesi için etkili çözümler üreten, her sisteme uygulanabilir, sistemli bir yaklaşım gereklidir [4]. Çünkü sistemli yaklaşımlar tasarım sürecini hızlandırır ve tasarımcının yaratıcılık seviyesini artırır. Ayrıca, problemi tam anlama ve elde edilen çözümleri daha iyi değerlendirme de sağlar.

Tasarımların teknik ve ekonomik açıdan uygun olabilmesi, yani müşterinin teknik ve ekonomik beklentilerini karşılayacak kaliteli, yenilikçi ve ekonomik tasarımlar yapabilmek için birçok tasarım metodolojisi ve yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu metodolojiler arasında dünya genelinde en ünlü ve rağbet göreni Pahl ve Beitz'in Sistematik Tasarım Yaklaşımıdır [5-7]. Bu yaklaşım, çok sayıda endüstriyel uygulama ve akademik çalışmaya dayandığı için öne çıkmaktadır [8]. Bu yaklaşımın en önemli aşaması ürün maliyetinin yaklaşık % 80'inin belirlendiğı “Kavramsal Tasarım (KT)” aşamasıdır [5]. Ayrıca, bu aşamada alınan kararlar ve seçilen çözümler, sonraki süreçler için son derece kritiktir [9].

KT aşaması, bir ürün veya proje için temel fikirlerin ve işlevlerin belirlendiğı kritik bir aşamadır. Bu aşamada, maliyetleri önemli ölçüde etkileyebilecek önemli kararlar alınır ve burada maliyet tasarrufu potansiyeli bulmak, ürünlerin genel maliyetini önemli ölçüde azaltabilir. Bu aşamanın ürün maliyetine etkisi maliyet azaltma potansiyeli açısından da oldukça önemlidir (Şekil 1.2) [10]. Çünkü ürün yaşam döngüsünün sonraki aşamalarında (Üretim veya uygulama aşamalarında) artan uygulama maliyeti nedeniyle maliyet azaltma potansiyeli azalmaktadır. Bu nedenle, KT aşamasında doğru maliyet yönetimi ve tasarım kararları almak büyük önem taşır. Bu aşamada yapılan tasarım değişiklikleri ve iyileştirmeler, ürünün maliyetini optimize etmek için önemli fırsatlar sunabilir.

- c) Problemleri yaratıcı ve inovatif bir şekilde çözmek.
- d) Maliyet ve işlevsel olarak en değerli kavramı ortaya koymak.

Bu amaçlar doğrultusunda bu çalışmanın önemi 4 maddede değerlendirilebilir.

- 1) Müşteri istek ve arzuları tasarıma doğru yansıtılarak müşteri memnuniyeti artırılabilir. Dünyada yaygın olarak kullanılan KFY'nin en önemli ve stratejik aracı kalite evi ile müşteri ihtiyaç ve beklentileri eksiksiz olarak karşılanabilir [13].
- 2) TRIZ'in teknolojik dönüşüm kanunları ile yeni nesil tasarım özellikleri daha çabuk tahmin edilebilir. Çünkü bu kanunlar bilimsel yaklaşımlara dayanır [14], teknik sistemlerin nasıl bir gelişim yönü izleyeceğinin tahmininde faydalı olabilir [15] ve ayrıca yeni ürün özelliklerinin tanımlanmasına yardımcı olur [16].
- 3) Problemler sezgisel yöntemlerden daha çok teknolojiye dayalı yaratıcı ve yenilikçi bir problem çözme yöntemi ile desteklenir. Çünkü TRIZ, sistematik yaklaşımı, sahip olduğu araçlar ve bilgi kaynakları ile daha yaratıcı ve inovatif çözümlerin hızlı bir şekilde bulunmasına yardımcı olur [14].
- 4) TRIZ'in kaynaklar kavramı ile fonksiyon ve maliyet odaklı bir yaklaşım olan DM'nin birlikte kullanılmasıyla maliyet ve işlevsel açıdan optimum bir tasarıma ulaşmak mümkün olabilir. Kaynakların kullanımı, sürdürülebilir bir tasarım için oldukça önemlidir [17]. DM ile daha etkin maliyet tasarrufu sağlanabilir (verimli kullanma ve iyileştirme ile). Ayrıca, Fonksiyon Analiz Sistem Tekniği (FAST) diyagramı ile fonksiyon ilişkileri daha açık / anlaşılır gösterilir ve problemler daha iyi anlaşılır [18].

Bu tez KT işlemlerini iyileştirecek tasarım yöntem ve yaklaşımlarını kapsamlı inceledikten sonra bu süreci daha etkin/güçlü yapabilmek için farklı yöntemlerin birlikte veya sırayla uygulamayı ele almaktadır. Bunun için tez kapsamında;

- Piyasada yer alan demiryolu muayene araçları ile demiryolu muayenesi kapsamlı sistemler ve yapılan tasarımlara ilişkin literatür incelenmiştir.
- Tasarım yöntemlerinin entegrasyonunu ve bunlardan hangilerinin sürece nerede ve nasıl dahil edileceğini içeren literatür araştırılmıştır.
- Seçilen tasarım metodolojileri irdelenmiş ve birçok açıdan karşılaştırılmıştır.

- Pahl ve Beitz' in KT aşamaları araştırılmış, sürecin uygulanması ve kullanılan araçlar incelenmiş, bir örnek uygulama üzerinden gösterilmiştir.
- Seçilen tasarım metodolojilerinin bu tez kapsamında kullanılan araçları araştırılmıştır.
- Daha sonra belirlenen araçlar KT sürecinde inovasyon aracı olarak kullanılarak demiryolu muayene ve ölçüm aracı/arabası tasarımı yapılmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu tez kapsamında yapılan kaynak araştırması iki ana bölüm içermektedir. Birinci bölümde, demiryolu hattı muayenesinde kullanılan araçlar ve sistemler hakkında kısaca bilgi verildikten sonra literatürdeki araştırmalar detaylı bir şekilde incelenmektedir. İkinci bölümde ise bazı tasarım metodolojileri tanıtılmakta, üstün ve zayıf yanları açıklanmakta, bir karşılaştırmaları yapılmaktadır. Burada ayrıca KT sürecinin bu tasarım metodolojileri ile nasıl ve hangi amaçla desteklendiği de açıklanmaktadır.

2.1. Demiryolu Ölçüm Araçları

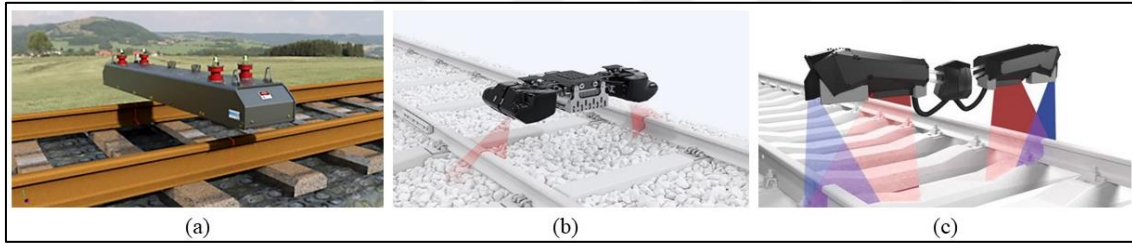
Demiryolu hattı muayenesi, gelişmiş yol kayıt araçları (TRV), araç üstü durum izleme sistemleri (CMS), karayolu-demiryolu (Hi-Rail) araçları ve demiryolu arabaları gibi araç veya sistemler ile yapılabilmektedir [19]. Yol kayıt araçları gelişmiş sensörler, veri ve görüntü işleme birimleri ile donatılmış yüksek teknoloji araçlardır. Araç durum izleme sistemleri (CMS) ise bakım araçlarına monte edilebilen taşınabilir ölçüm sistemleridir. Bazı türlerinde ise ölçüm sensörleri demiryolu aracının farklı kısımlarına yerleştirilebilmektedir. Bu sistemler hem karayolunda hem de demiryolunda gidebilen karayolu-demiryolu (Hi-Rail) araçlarına monte edilerek bu araçların hat muayenesinde de kullanılmasını sağlamaktadır. Demiryolu arabaları ise kompakt, küçük boyutlu ve düşük ağırlıklı taşınabilir araçlardır. Bu araç veya sistemlerden piyasada yer alan bazı örnekler; Resim 2.1 [20-23], Resim 2.2 [21, 24, 25], Resim 2.3 [23, 24, 26] ve Resim 2.4'de [20, 26-30] gösterilmiştir.

Demiryolu arabaları, diğer muayene araçlarına oranla oldukça düşük hıza sahiptir [19]. Ancak, yol parametrelerini kaydetme ve değerlendirmenin en hızlı ve ekonomik yöntemidir [31]. Bu nedenle daha küçük ölçekli demiryolu işletmecileri tarafından tercih edilir [32].

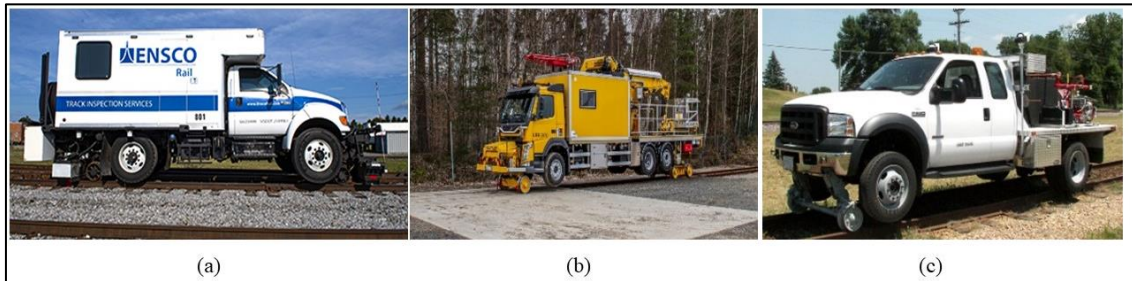
Literatürde, demiryolu arabası veya araç bazlı durum izleme sistemi tasarımı veya ölçüm kabiliyetlerini geliştirme kapsamlı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda tanıtılmaktadır:



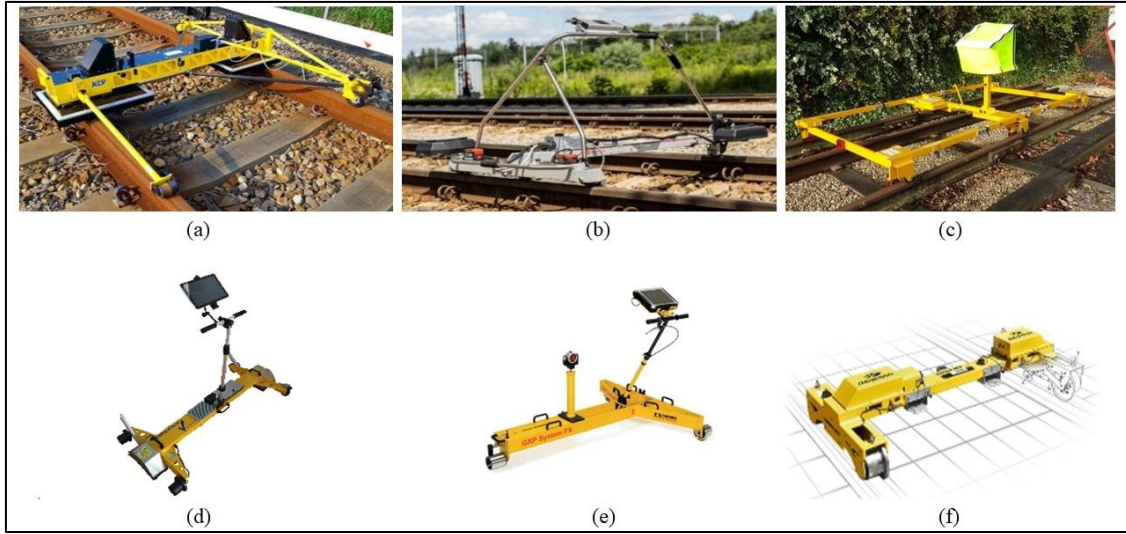
Resim 2.1. Yol kayıt araçları (TRV) a) Geismar Eye Dragon, b) Plasser-Theurer EM 160, c) Mermec Roger 400, d) Harscorail TGIV



Resim 2.2. Araç üstü durum izleme sistemleri (CMS), a) Ensco-Yol geometrisi ölçüm sistemi, b) Mermec-Ataletsel ölçüm sistemi, c) Tvema-Yol geometrisi değerlendirme sistemi



Resim 2.3. Karayolu-Demiryolu (Hi-Rail) araçları; a) Ensco, b) Goldschmidts, c) Harscorail



Resim 2.4. Demiryolu arabaları, a) Krab NCI, b) Goldschmidts TSP, c) Donfabs & Consillia PTST, d) Selectravisyon Track T2, e) Amberg GRP 100, f) Geismar Emerald

- *Alippi, Casagrande, Scotti ve Piuri*, lazer sensör ve kamera kullanarak gerçek zamanlı ve görüntü işleme teknolojisine dayalı bir kompozit görüntü işleme sistemi önermiştir [33].
- *Glaus*, Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) ve takeometre kullanarak mutlak konumsal veriler sağlayan demiryolu aracına monte edilen modüler bir demiryolu arabası tasarlamıştır [34].
- *Tsunashima, Naganuma, Matsumoto, Mizuma ve Mori*, bir demiryolu aracı gövdesine yerleştirdikleri çeşitli sensörlerle ray üzerinde korügasyonu ölçebilen ve yolun geometrik bozukluklarını tahmin edebilen bir sistem geliştirmiştir. Sistemde korügasyon ölçümü için bir gürültü ölçer ve yol bozukluklarını belirlemek için yanıl ve dikey ivmeölçerler kullanmıştır. Bu sistem ile ticari demiryolu hatlarında yapılan ölçümlerde başarılı sonuçlar elde etmiştir [35].
- *Akpınar ve Gülal*, raylı sistemlerde klasik ölçüm yöntemlerinin yerine nivo (jeodezik ölçme aleti) ve GPS alıcılarının birlikte kullanıldığı bir araç tasarlamıştır. Test hattında yapılan ölçümlerde GPS alıcılarına ek olarak nivo kullanıldığında yatay ve düşey konum belirlemede iyileşmeler sağlandığı ve bu nedenle de özellikle tünel gibi bölgelerde GPS alıcılarının nivo ile desteklenebileceği anlaşılmıştır [36].
- *Liu, Sun, Wang ve Zhang*, basit ve hızlı bir şekilde ray profili ölçümü yapabilen, daha ekonomik, hassas ve basit görüntü işleme sistemi içeren bir yöntem önermiştir. Önerdiği bu metotta sistem bir görüntü sensörü ile alınan verileri bilgisayar ile işlemekte ve ray aşınmalarını hesaplamaktadır [37].

- *Zheng, Chai, An ve Li*, dinamik olarak ekartman ölçümü için bilgisayar görü teknolojisine dayalı bir yöntem önermiştir. Bu yöntemde her iki ray için toplam 4 adet kamera ve 2 adet lazer ışığı kullanılmıştır. Elde edilen görüntüleri görüntü işleme yöntemleri kullanarak işlemiş ve ekartman ölçüm noktalarını tespit etmiştir. Hem statik hem de dinamik ortamda yapılan testlerde çok hassas sonuçlar elde etmiştir [38].
- *Karaduman*, kamera ve yüksek hassasiyetli lazer metre kullanarak elde ettiği görüntüleri üç boyutlu görüntü işleme yöntemleriyle işleyip ray profil ölçümü yapan bir metot önermiştir. Oluşturduğu deney düzenekleri ile yaptığı çalışmasında ray profili analizine ilişkin sağlıklı ve verimli sonuçlar elde etmiştir [39].
- *Molleda ve diğerleri.*, rayların hem üretim sürecinde hem de hat üzerinde geometrik muayenesinin sağlanması için mesafe ölçümü yapabilen 4 adet lazer sensör ve kamera kullanan makine görü tabanlı temassız bir profil ölçüm sistemi tanıtmıştır. Lazer sensörlerini ray mantarı ve gövdesini muayene etmek için kullanmış ve rayın her iki tarafına konumlandırmıştır. Hem laboratuvar ortamında hem de sahada yaptığı ölçümlerde doğru ve tekrarlanabilir veriler elde etmiştir [40].
- *Karaköse, Yaman, Murat ve Akin*, demiryolu hattı bileşenlerinin izlenmesi ve hattaki kusurların belirlenmesi için gerçek zamanlı sonuçlar veren bilgisayar görü tabanlı bir yöntem önermiştir. Bu yöntemde trenin alt kısmına sabitlenmiş 2 kamera ile demiryolu bileşenlerinin kontrolü sağlanırken, trenin üst kısmına yerleştirilen kamera ile hattın kontrolü sağlanmıştır. Bu yöntemde, kameralardan elde edilen verilerden öncelikle görüntü işleme yöntemiyle bileşenlerin ve sonra da bunlar üzerindeki kusurların belirlenmesi amaçlanmıştır. Önerilen yöntem bir prototip ile test edilmiş ve düşük hızlar için başarılı sonuçlar elde edilmiştir [41].
- *Chen ve diğerleri*, jeodezik ölçüm aletine entegre edilen atalet seyrüsefer sistemi ile daha verimli bir ölçüm yapabilen modüler bir yol geometrisi ölçüm aracı tasarlamıştır [42].
- *Yogesh ve diğerleri*, demiryolu hattı kesimlerinde ray kırığı, bağlantı malzeme eksikliği ve hat üzerindeki çeşitli engelleri tanımlayan ve bu kusurları mutlak konumu ile merkeze bildiren nesnelerin internet tabanlı bir sistem önermiştir. Bu sistemde hat üzerindeki engellerin tespiti için ultrasonik sensör, her iki rayda bulunan kırık ve malzeme eksikliğinin tespiti için kızılötesi sensör kullanmıştır. Ayrıca, sistemde sensörlerden alınan veriler işlenerek merkeze alarm gönderilmekte ve GPS modülü ile mutlak konum kolayca tespit edilebilmektedir [43].

- *Escalona, Urda ve Munoz*, hem hat geometrisi hem de ray profili ölçümü için bir sistem geliştirmiş ve bunu ölçekli bir yol modeli üzerinde test etmiştir. Servis araçlarının her noktasına monte edilebilecek sistemde deyer ve ekartman ölçümlerinde hassas sonuçlar elde edilirken, aliyman ve boyuna yol geometri sonuçlarında ölçüm doğruluğu göreceli olarak daha düşük gerçekleşmiştir [44].

Bu çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, çalışmalardan bazıları lazer sensör, kamera ve görüntü işleme teknolojilerine dayalı ölçüm yöntemleri oluşturma veya ölçüm sistemi tasarımını içermektedir [33, 35, 37, 38-41, 43, 44]. Bazı çalışmalar ise GPS, ataletsel ölçüm sistemi (IMU), jeodezik ölçüm aletleri kullanılarak ölçümlerde elde edilen verilerin konum iyileştirmesini sağlamayı amaçlamaktadır [34, 36 ve 42].

2.2. Tasarım Yöntemleri

Ürün geliştirme süreci, genel olarak ihtiyaçların belirlendiği, bu ihtiyaçların problemlere dönüştürüldüğü, problemleri çözecek bazı kavramların oluşturulduğu, bunların çeşitli ölçütlere göre değerlendirilerek en uygun kavramın seçildiği bir süreç olarak tanımlanır [45]. Bu süreci daha derinlemesine anlamak, uygulanabilir yapmak, daha verimli hale getirmek ve sürdürülebilir tasarımları gerçekleştirmek için bazı tasarım metodolojileri geliştirilmiştir [46]. Bu kapsamda tasarım metodolojilerinin genel olarak faydaları şöyle özetlenebilir [4]:

- Ortaya koyduğu stratejiler, kurallar ve ilkeler ile tasarım amaçlarına ulaşmayı sağlar.
- Oluşturulan sistematik işlemler ile tasarım aşama veya süreçleri daha anlaşılır ve kolay öğrenilebilir olabilir.
- Tasarımcıya rehberlik edilerek tasarım kabiliyetinin iyileşmesi sağlanabilir.
- Problemlerin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olur.
- Daha fazla yaratıcı çözüm seçeneği üretilebilir.
- Tasarım çözümlerinin nesnel bir şekilde değerlendirilmesi mümkün olabilir.

Tasarım teorileri ve metodolojileri 19. yüzyılda sanayileşme dönemi ile birlikte akademik araştırmacıların çalıştıkları ve geliştirdikleri bir alan olmuştur [47]. Bu dönemde bazı araştırmacılar gelişime katkı sağlasa da sistematik tasarım fikirleri ilk defa Erkens [48] öncülüğünde 1920'li yıllarda oluşmaya başlamıştır [4]. Özellikle 1960'lı yıllarda konu daha

fazla benimsenmiş ve süreç hakkında çok sayıda öneri gelmiştir. Bu durum tasarım alanında daha yoğun çalışmalar yapılmasına zemin hazırlamış ve modern sistematik tasarım yaklaşımlarının gelişmesini sağlamıştır [4]. Günümüzde ise önemli bazı tasarım metodolojisi ve teorisi yaklaşımları mevcuttur. Bunlardan bazıları; Hubka ve Eder [49], Ullman [50], Sistematik Tasarım [4] ve TRIZ [51], DM [52] ve KFY [53] şeklinde belirtilebilir.

Bu tez kapsamında; Sistematik Tasarım, DM, TRIZ, KFY yaklaşımları belirli bir şekilde ele alınacak, kısaca tanıtılacak ve yapılan örnek tasarımda müştereken kullanılacaktır.

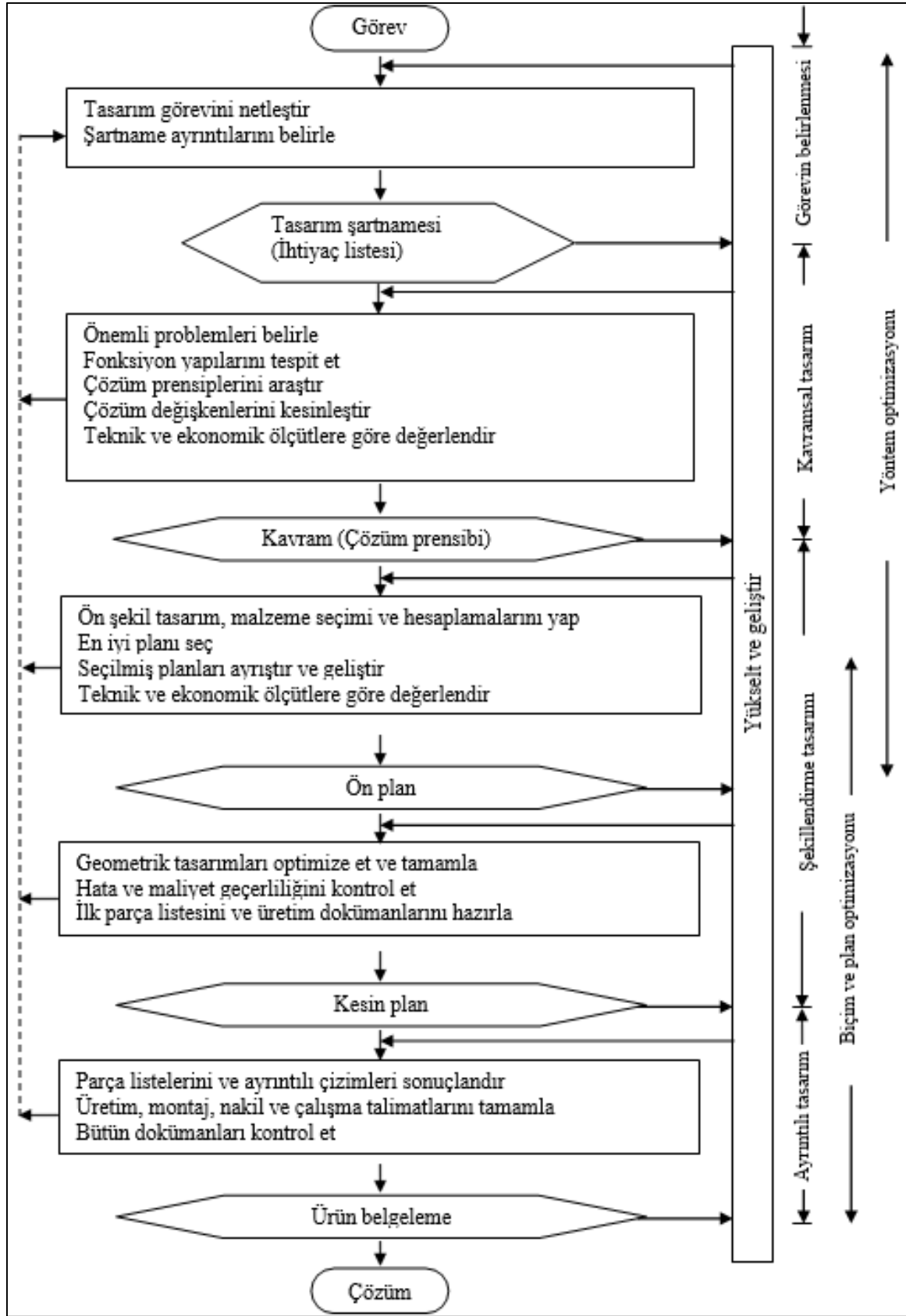
2.2.1. Sistematik tasarım

Sistematik tasarım yaklaşımı [4], 1970’li yıllarda Alman Pahl ve Beitz tarafından geliştirilen bir metodolojidir. Bu metodoloji Dünya’da en çok kabul gören [6] ve birçok akademik çalışmada atıfta bulunulan bir tasarım metodolojisidir [47].

Sistematik tasarım yaklaşımı, sistem düzeyli bir tasarımın bütünsel ve sistematik bir bakış açısı ile büyük bir tasarım çözüm uzayında yapılmasını ve oluşturulan çeşitli tasarım varyantları (konseptleri) arasından en optimum olanın belirlenmesini amaçlar [4]. Bu tasarım süreci şu dört aşamayı içerir (Şekil 2.1) [4]:

- a) *Görevin belirlenmesi*: Bu aşamada tasarımı yapılacak ürünle ilgili bilgiler toplanır, kısıtlar ve gereksinimler belirlenir.
- b) *Kavramsal tasarım (KT)*: Burada çeşitli tasarım varyantları (konseptleri) oluşturulur ve bunlardan bir veya birkaçı seçilir (Bkz. Bölüm 3).
- c) *Şekillendirme tasarımı*: Bu aşamada seçilen konseptler geliştirilir, gerekli hesaplar / analizler yapılır ve daha somut hale (konstrüksiyon) getirilir.
- d) *Detaylı tasarım*: Boyutlar, yüzey pürüzlülüğü, toleranslar ve genel montaj yapısı gibi diğer imalat ve montaj işlemleri belirlenir.

Sistematik tasarım yaklaşımında görevin açık bir şekilde belirlenmesi için genel bir işlem tanımlanmıştır. Buna göre önemli piyasa talepleri belirlenir ve patent, literatür ve rakip ürün incelemeleri gibi çeşitli yollar ile ihtiyaç listesi (tasarım şartnamesi) oluşturulur. Daha sonra



Şekil 2.1. Sistematik tasarım işlem basamakları [4]

burada yer alan veriler genel ve soyut ifadelerle indirgenir. Problemlerin daha açık ve basit hale getirilmesi için fonksiyon yapıları oluşturulur ve alt fonksiyonlar belirlenir. Morfolojik analiz kullanılarak alt fonksiyonlar için çözüm ilkeleri araştırılır. Bu ilkelerin oluşturulması için tasarım katalogları, fiziksel etki ve makine elemanları derlemeleri gibi bilgi kaynakları ile beyin fırtınası, sinektik, 6-3-5 metodu, Delfi metodu gibi yaratıcılığı geliştiren yöntemler kullanılır. Sonraki aşamada uygun birleştirme yöntemleri kullanılarak çözüm seçenekleri oluşturulur. Bu çözüm seçenekleri seçim kartı, amaçlar ağacı, değer analizi ve VDI-2225 rehberi gibi araçlar kullanılarak değerlendirilir ve en uygun kavram seçilir.

Diğer taraftan sistematik tasarım yaklaşımı bazı olumsuzluklar da içermektedir. Bunlardan bazıları; metodolojinin endüstride yeterince yaygın olmaması, yaratıcılık seviyesinin düşük olması [54], öğrenilmesinin uzun süreç alması ve yaklaşımı verimli bir şekilde uygulamak için uzun süreli tecrübeler gerekmesidir [47]. Birçok eğitim müfredatında yer almasına rağmen öğrenciler veya yeterli tecrübesi olmayan tasarımcılar bu yaklaşımı verimli bir şekilde uygulama zorlukları çekmektedir. Çünkü öğrenciler genellikle metodolojiyi yanlış anlamakta ve yanlış uygulamaktadırlar [54].

2.2.2. Değer mühendisliği (DM)

DM veya Değer Analizi (DA) yaklaşımı 1940'lı yıllarda ve 2. Dünya savaşı süresince kritik malzemelerin eksikliği kaynaklı sorunların üstesinden gelmek için Lawrence Miles tarafından geliştirilmiştir [52]. DA/DM, “Kalite, kullanılabilirlik, görsellik ve müşteri istekleri korunarak gereksiz maliyetleri belirlemeyi amaçlayan birçok teknik, bilgi ve kişisel yetenekleri kullanan sistematik ve yaratıcı bir yaklaşım” olarak tanımlanabilir [52]. Amerikan Değer Mühendisliği Topluluğu'na (SAVE) göre ise DA/DM fonksiyon, performans, kalite, emniyet ve maliyet karakteristikleri arasında optimum dengeyi sağlayan sistematik ve yapısal bir yaklaşımdır [55].

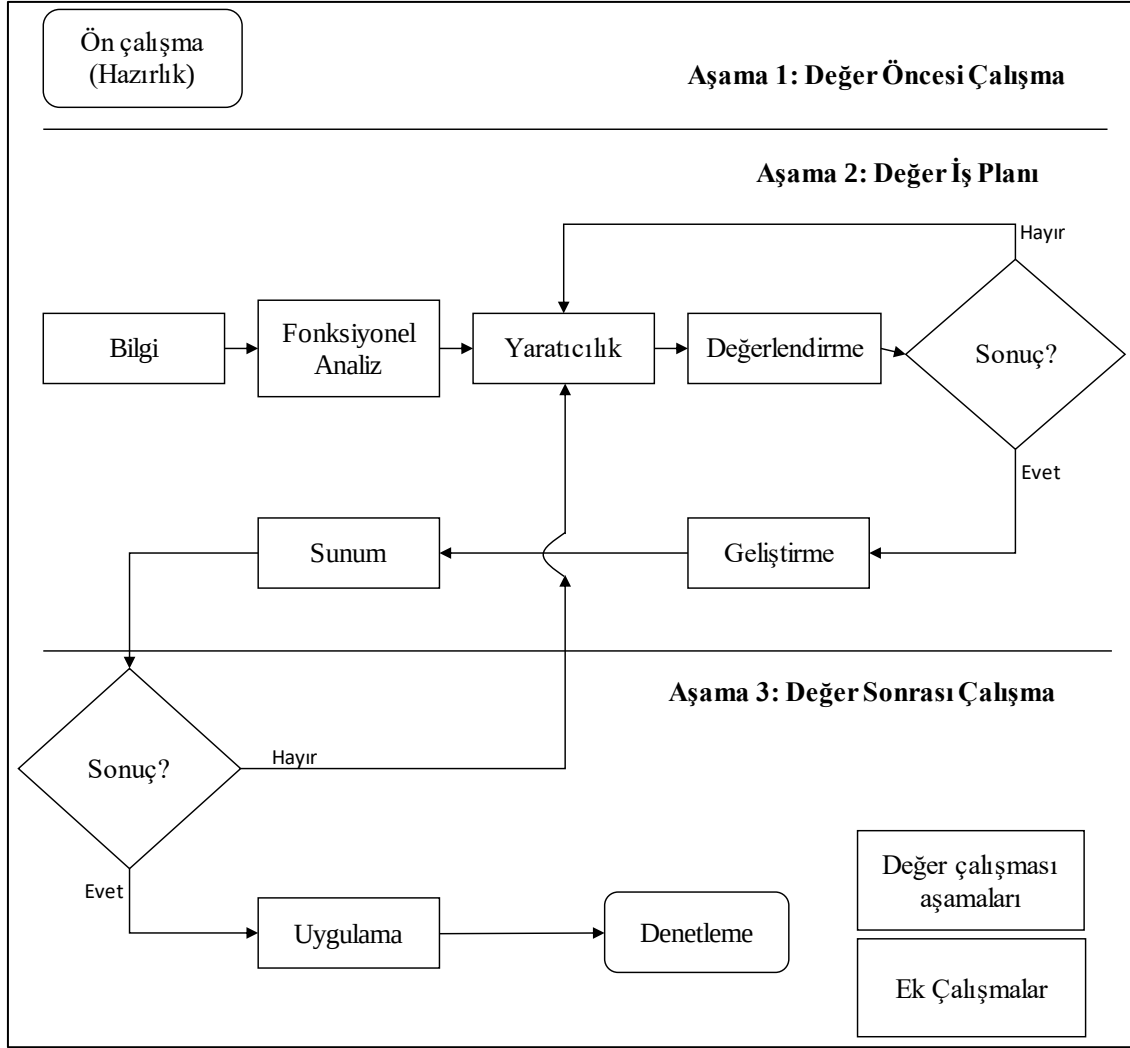
DA ve DM eşanlamlı kavramlar olsa da yöntemin uygulama zamanı açısından farklılıklar mevcuttur. Çünkü DA, mevcut ürünün değerini artırmak için iyileştirici bir süreç iken; DM yeni bir ürün tasarımında değer artırmayı amaçlayan önleyici bir süreçtir.

DM, ürünün kalitesi ve maliyetini iyileştiren araçlarının verimliliği ve yaratıcılığı ile kullanan şirketlere önemli rekabet avantajları sağladığı için piyasada tercih edilmektedir

[56]. Ürün, sistem, hizmet, proje, süreç, işlem, tesis vb. tasarımı olmak üzere çok geniş bir alanda kullanılır [57]. Bu yaklaşım mevcut ürünlerin yeniden tasarımında kullanıldığı gibi aynı prensiplerle kavram geliştirme, tasarım ve prototip oluşturma süreçlerinde de kullanılabilir [58].

Lawrence Miles, DM iş planını; bilgi, analiz, yaratıcılık, karar verme ve plan geliştirme olarak beş aşamada değerlendirmiştir [52]. SAVE'ye göre ise DM, değer öncesi çalışma, değer çalışması ve değer sonrası çalışma olmak üzere üç aşamaya ayrılmaktadır. Ayrıca, SAVE, değer iş planını; bilgi, fonksiyon analizi, yaratıcılık, değerlendirme, geliştirme ve sunum olmak üzere şu altı adımda ele almıştır (Şekil 2.2) [55]:

1. *Bilgi*: Burada konunun kapsamı, değerlendirme kriterleri ve iyileştirme amaçları gibi hazırlık sürecinde başlanan çalışmalar kesin olarak belirlenir. Bu aşamada değer çalışması için iç ve dış kaynaklar derlenir ve kullanılabilir kaynaklar seçilir, müşteri talepleri belirlenir ve tanımlanır.
2. *Fonksiyon analizi*: Burada gereksiz maliyetleri ortadan kaldırmak için maliyeti yüksek olan fonksiyonlar belirlenir ve değerlendirilir. İyileştirme yapılacak, elenecek veya ilave edilecek fonksiyonlar belirlenir.
3. *Yaratıcılık*: Burada yaratıcı teknikler kullanılarak çeşitli alternatif çözümler üretilir. Beyin fırtınası, Gordon tekniği, morfolojik analiz ve TRIZ gibi problem çözme araçları kullanılır.
4. *Değerlendirme*: Yaratıcılık aşamasında üretilen çözüm önerileri değerlendirilir ve en iyi çözüm seçilir. Bütün alternatifler, çözümlerin değer potansiyelleri ile performans gereksinimleri ve kaynak sınırları doğrultusunda değerlendirilir.
5. *Geliştirme*: Alternatif çözümler karar vericiye sunulmak üzere geliştirilir. Tasarımların yaşam boyu maliyetleri analiz edilir, en faydalı alternatifler belirlenir ve uygulama planı oluşturulur.
6. *Sunum*: Alternatif çözümler için gerekli dokümanlar hazırlanarak karar vericiye veya yönetim ekibine gerekli bilgiler verilir.



Şekil 2.2. DM akış şeması [55]

DM metodolojisinde görevin belirlenmesi aşaması net olarak tanımlı olmamakla birlikte bilgi toplama aşamasında proje ile ilgili detaylı bilgiler hazırlanır ve öncelikli konular belirlenir. Bunun için KFY, Pareto analizi, Güçlü-Zayıf-Fırsat-Tehdit (GZFT) analizi gibi araçlar kullanılır [55]. Fonksiyon analizi ile birincil ve ikincil fonksiyonlar belirlenir ve bu fonksiyonların maliyetleri ile değerleri analiz edilerek değer iyileştirilmesi yapılacak fonksiyonlar belirlenir. Ayrıca, FAST diyagramı kullanılarak fonksiyon ilişkileri geliştirilir. Bu diyagramda tasarım amacını yerine getirecek fonksiyonlar gösterilir ve mantıksal bir yapıda tanımlanır [10]. Ayrıca, FAST diyagramı takım üyelerinin fonksiyon ilişkilerini açık ve anlaşılır bir şekilde görmelerini [55], karmaşık sistemlerin daha kolay anlaşılmasını sağlar [18]. Yaratıcılık aşamasında; beyin fırtınası, Gordon tekniği, kontrol listesi, morfolojik analiz ve TRIZ gibi teknikleri kullanılarak çözümler oluşturulur [10]. Değerlendirme aşamasında ise elde edilen bütün çözümler arasından ekonomik açıdan fizibil olmayanlar,

sistem ana fonksiyonunu sağlamayanlar ve gelecek vaat etmeyen çözümler elenerek diğerleri arasından değerlendirme yapılır. Bu aşamada Pugh analizi (karar verme matrisi), yaşam boyu maliyetler, çözüm avantajları ve değer indeksi gibi araçlar kullanılır [55].

Bazen DM metodolojisinde insan kaynaklı bazı hatalar nedeniyle yeterince değer artışı sağlanamayabilir. Bu hatalar; yetersiz bilgi, kısıtlı zaman, zayıf insan ilişkileri, olumsuz davranışlar vb. şeklinde olabilir [59].

2.2.3. Yaratıcı problem çözme teorisi (TRIZ/TIPS)

TRIZ/TIPS, Genrich Altshuller ve arkadaşları tarafından geliştirilen problemlerin çözümü için birçok araç ve metodoloji içeren bir metodolojidir [47]. TRIZ, problemlerin sistematik ve yaratıcı bir şekilde çözülmesi için tasarımcıya büyük kolaylıklar sağlar [5]. Ayrıca, maliyet ve zararlı etkileri azaltmaya çalışarak sistemden elde edilen faydayı artırır ve ideal çözüme ulaşmaya çalışır [60].

TRIZ, deneme yanılma yönteminin neden olduğu belirsizliği ortadan kaldırarak sistematik bir yaklaşımla problemlerin yaratıcı bir şekilde çözümünü sağlar [45]. Bunun için yaratıcı prensipler, teknolojik dönüşüm kanunları, standart çözümler, bilimsel etkiler, ayırma prensipleri, çelişkiler matrisi, fonksiyon analizi, madde-alan analizi gibi çok sayıda araç kullanılır [60]. Bunlar arasında en çok kullanılan ise çelişkiler analizidir [61]. TRIZ, mevcut ürün iyileştirilmesi, yeni ürün tasarımı, yeni teknolojilerin geliştirilmesi, üretim ve organizasyon süreçleri gibi birçok alanda çok zor problemleri çözmede kullanılır [45].

Ayrıca, Altshuller, problem çözümünde kullanılmak üzere birçok yöntemin kullanıldığı daha güçlü bir araç olan Yaratıcı Problem Çözme Algoritması'nı (ARIZ) da geliştirmiştir. ARIZ; problem çözme sürecinde tasarımcıya yardımcı olmayı, psikolojik ataleti ortadan kaldırmayı ve TRIZ araçlarını sistematik bir şekilde kullanmayı amaçlar [45]. ARIZ, şu beş adımda uygulanır [60]:

1. *Problemin tanımlanması:* Burada teknik sistemin ana fonksiyonu ve çıktısı belirlenir. Problem kısa, açık ve net ifadelerle tanımlanır. Problem ile ilgili gerekli bilgiler toplanır ve problem daha açık hale getirilir. Daha sonra sistem bileşen, fonksiyon ve amaçları tanımlanır.

2. *Çelişkilerin belirlenmesi:* Bu adım çözüm kavramının ortaya çıkmasına doğrudan etki ettiği için problem çözme sürecinin en önemli adımıdır. Burada teknik sistem bileşen ilişkileri analiz edilerek teknik çelişkiler ve fiziksel çelişkiler belirlenir.
3. *Çelişkilerin analizi ve mini problemin formüle edilmesi:* Bir önceki adımda belirlenen çelişkiler, bunların teknik sistem ana fonksiyonu ile ilişkisine bağlı olarak farklı adımlarla çözülür ve mini problem elde edilir.
4. *Kaynakların analizi:* Bu adımda çelişkinin olduğu yer ve oluş zamanı belirlenerek kullanılabilir kaynaklar tanımlanır.
5. *Kavramsal çözümün geliştirilmesi:* Burada mevcut kaynaklar kullanılarak çözüm kavramı elde edilir. Öncelikle seçilen kaynak kullanılarak ideal nihai sonuç formüle edilir. Daha sonra fiziksel çelişkiler belirlenir ve ayırma prensipleri kullanılarak çözüm kavramı oluşturulur.

TRIZ, problem çözme sürecinde problemin belirlenmesi, analizi ve yaratıcı bir şekilde çözülmesi için çok sayıda araç kullanır. Görevin belirlenmesi aşamasında teknolojik dönüşüm kanunları ile sistemin gelecek dönüşümünü tahmin ederek çok sayıda sistem arasından gelecek vaat eden sistem özelliklerini belirlemeyi sağlar [14, 45]. Bu kanunlar birçok alanda uygulanabilir olduğundan yeni teknolojilerin tahmin edilmesinde ve ürünlerin geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılır [62]. Ayrıca, patent araştırmaları ve teknik sistemlerin yaşam boyu gelişim sürecini gösteren S-eğrisi ile mevcut sistem durumunu belirleyerek ürün stratejisi belirlemeye yardımcı olur.

Diğer taraftan TRIZ, karmaşık bir yapıya sahip olduğu için öğrenmesi ve uygulaması oldukça zordur ve tamamının anlaşılması çok fazla zaman ve kaynak gerektirir [16]. Ayrıca, çok sayıda araç arasından doğru problem çözme aracını seçmek de tecrübe gerektirebilir.

2.2.4. Kalite fonksiyonu yayılımı (KFY)

KFY [53], Japonya’da 1960’ların sonlarında ortaya çıkan ve günümüzde tüm dünyada yaygın kullanımı olan önemli bir kalite geliştirme tekniğidir [13]. KFY ile müşterinin talep ettiği kalite gereksinimleri karşılanır ve ürün fonksiyonları ile ürün süreçleri sistematik bir şekilde yerine getirilir [47]. Bu nedenle KFY müşteri ihtiyaçlarının ve beklentilerinin eksiksiz bir şekilde karşılanmasına yardımcı olan bir planlama aracı olarak da kabul edilebilir [63]. KFY, müşteri ihtiyaçlarına en uygun ürün veya hizmeti ortaya koyarak

maliyetlerin azaltılması, gelirlerin artırılması, yeni ürün veya hizmetin üretim süresinin kısaltılmasında faydalı bir araç olarak kullanılmaktadır [64]. Bu amaç doğrultusunda yeni ve iyileştirilmiş ürün veya hizmet tasarımı ve planlamasında kullanılabilmektedir.

KFY yöntemi dört aşamadan oluşur [65]:

- a) *Ürün tanımlama*: Müşteri ihtiyaçlarının ürün tasarım özelliklerine veya tasarım parametrelerine dönüştürmeyi içerir. Bu aşamada şirketin müşteri taleplerini ve ihtiyaçlarını en verimli şekilde nasıl yerine getirebileceği de değerlendirilir.
- b) *Ürün geliştirme*: Önemli tasarım parametrelerini bileşen karakteristiklerine dönüştürmeyi kapsar. Bu aşamada ürünün önemli ve kritik parçaları tanımlanır ve tasarım parametreleri bileşen ya da montaj karakteristiğine dönüştürülür.
- c) *Süreç geliştirme*: Önemli bileşen karakteristiklerinin süreç işlemlerine dönüştürmeyi içerir. Burada ürün veya bileşen özellikleri dikkate alınarak üretim ve montaj süreçleri oluşturulur. Süreç akışı geliştirilerek önemli süreç bileşenleri tanımlanır.
- d) *Süreç kalite kontrolü*: Kritik süreç bileşenlerini imalat gereksinimlerine dönüştürmeyi kapsar. Üretimin başlamasından önce kritik bileşenler ve süreç karakteristikleri tanımlanır. Süreç parametreleri belirlenerek uygun olan süreç kontrolleri geliştirilerek uygulanır.

KFY, ürün geliştirme süreçlerinde kaliteyi düşüren etkenleri azaltma ve müşteri ihtiyaç ve beklentilerini tasarımın erken aşamalarında belirleme amaçlı kullanılır [13]. En önemli ve stratejik aracı olan Kalite evi ile müşteri gereksinimleri ile tasarım parametreleri arasında ilişki kurar ve müşteri gereksinimlerini tasarım ölçütlerine dönüştürür ve tasarımcıya önemli katkılar sağlar [64] ve doğru tasarım çözümüne ulaşılmasına yardımcı olur [13]. Ayrıca, tasarımdan somut bir ürüne ulaşmaya kadar disiplinler arası çalışma ile piyasada mevcut olanlardan daha iyi yeni bir ürün geliştirilmesini sağlar [63]. Yeni ürün tasarımı kullanıldığı gibi müşteri ihtiyaç ve beklentilerinin yeniden tanımlanması ile mevcut ürünlerin iyileştirilmesinde de kullanılır [63].

Diğer taraftan, KFY'nin ürün geliştirme süreçleri çok sayıda kısıtları bulunmaktadır. Tasarım adımları çok uzundur ve karmaşık sistemlerde çok sayıda müşteri ihtiyacı ve tasarım parametresi olduğu için uygulanması zordur [7]. Ayrıca, karmaşık sistemlerde çelişkili durumlarda karar vermeyi sağlayacak bir araç da içermemektedir. Bu nedenlerle,

KFY, ürün geliştirme adımlarında kullanılabilen sistematik bir yaklaşım olmakla birlikte endüstriyel uygulamalarda genellikle “müşterinin sesi” olarak bilinen birinci adımı kullanılır [47].

Yukarıda seçilen metodolojiler ile ilgili kısaca bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda tasarım metodolojileri amaç, kapsam ve tasarım kısıtları özellikleri ile görevin belirlenmesi, önemli problemlerin tanımlanması, çözüm ilkelerinin geliştirilmesi (çözüm üretme araçları, yaratıcı yöntemler ve çözüm uzayı) ve değerlendirme aşamaları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir (Ek-1).

Birçok araştırmacı, tasarım metodolojilerinin veya yöntemlerinin daha inovatif, yaratıcı ve müşteri odaklı olması için inovasyon stratejilerini kullanmışlardır. Bu çalışmalar:

- *Mayda ve Börklü*, TRIZ ve KFY araçlarını kullanarak daha sistematik ve pratikte kolaylıkla uygulanabilir, yaratıcı ve inovatif bir çözüm sağlayacak bir KT modeli önermiştir. Ayrıca, TRIZ’i problemleri belirlemek, yaratıcı çözümler üretmek ve elde edilen çözümü iyileştirmek amacıyla tasarımın her aşamasında kullanmışlardır. KFY’nin en önemli aracı olan kalite evi ile müşteri taleplerini tasarım parametrelerine dönüştürmüş ve müşteri taleplerinin tasarıma tam olarak yansıtmaya çalışmıştır [5].
- *Weiss ve Hari*, Pahl ve Beitz’in geliştirdiği sistematik yaklaşım metodunu esas alarak yeni bir kavramsal tasarım metot ortaya koymuştur. KFY ile görevin belirlenmesi adımını iyileştirmeye, önerdiği diğer metotlar ile çözüm varyantlarının kalitesini tahmin etmiş ve optimum çözüm seçeneğini bulmaya çalışmıştır. Ayrıca, KT sürecinde alternatif çözümleri değerlendirerek maliyetlerin düşürülmesini amaçlamıştır [7].
- *Naveiro ve Oliveira*, KT aşamasında KFY ile TRIZ’i birlikte kullanan yeni bir model önermiştir. Burada gereksinimler doğrudan patent taraması yapılarak tespit edilmiştir. Seçilen parametrelerden teknik gereksinimler çıkarılmış, kalite evi çatısında yer alan korelasyon matrisi ile ilişkileri değerlendirilmiş ve çelişkiler yaratıcı prensipler kullanılarak çözülmüştür. Ayrıca, kalite evi ile müşteri gereksinimleri ve teknik gereksinimler arasındaki ilişki de değerlendirilmiştir [66].
- *Yamashina, Ito ve Kawada*, KFY ile TRIZ’i birlikte kullanarak yeni ürün tasarımı için hem ürün planlama hem de KT sürecinde etkin olarak kullanılabilecek yeni bir inovatif

ürün geliştirme modeli önermiştir. KFY'yi müşteri ihtiyaçlarını belirlemek, TRIZ'i ise inovatif çözümler bulmak için kullanmıştır [67].

- *Kamarudin, Ridgway ve Hassan*, sistematik tasarım ile TRIZ'i bir araya getirerek yeni bir yaratıcı ve sistematik problem çözme algoritması tanımlamıştır. Burada problem tanımlama için TRIZ'in fonksiyonel analizini, problem çözümünde ise çelişkiler matrisini, yaratıcı prensipleri ve ayırma prensiplerini kullanmıştır [68].
- *Ibusuki ve Kaminski*, tamamlayıcı yöntemler olarak tanımladığı DM ve hedef maliyet yaklaşımlarını kullanarak ürün tasarımı aşamasında sadece kaliteyi ve daha fonksiyonel ürünü düşük maliyetlerle ortaya koymayı hedeflemiştir. KT aşamasında kalite evini kullanarak tasarım parametrelerini belirlemiş ve fonksiyon ilişkilerini geliştirmek için FAST diyagramını kullanmıştır. Sonra her bir fonksiyon için hedef maliyetler tayin ederek bu maliyetlere göre maliyet iyileştirilmesi yapılacak fonksiyonları belirlemiştir [69].
- *Leber, Bastic, Mavric ve Ivanisevic*, yeni ürün tasarımında değer analizi ve birleşik analizin tasarımda kullanılabileceğini göstermeye çalışmıştır. DM araçları ile maliyeti en yüksek üç fonksiyonu belirlemiş ve morfolojik matris kullanarak çözüm önerileri geliştirmiştir. Araştırmacılar, birleşik analiz yöntemi ile anketler yapmış, ürün tasarımı için en önemli parametreleri doğrudan kullanıcı katılımı ile belirlemiştir [70].
- *Mao, Zhang ve Abourizk*, DM metodolojisinin yaratıcılık aşamasında önerilen fikirlerin yönünü belirlemek ve böylece daha inovatif ve faydalı fikirler üretilmesini sağlamak için yeni bir algoritma oluşturmuştur. Bu algoritmada fonksiyonların zararlı etkileşimleri tanımlanmış ve bu zararlı etkileşimleri azaltmak veya ortadan kaldırmak için TRIZ araçlarını kullanmayı önermiştir. TRIZ'in yaratıcılık aşamasında kullanımı ile DM ekibinin yaratıcılık yeteneklerinin gelişebileceği ve daha inovatif çözümler üretebileceği belirtilmiştir [71].
- *Silva, Cavalca ve Dedini*, KFY ve DM'nin bazı araçlarını birleştirerek müşteri memnuniyetini sağlamayı ve maliyeti karar verme aracı olarak kullanmayı amaçlamıştır. Bu kapsamda yeni önerdiği modelde KFY'nin kalite evi adımlarına FAST diyagramı ile fonksiyon ilişkilerini geliştirmiş ve Mudge diyagramı ile bu fonksiyonların önemli olanlarını tayin etmiştir. Ayrıca, sistem bileşenlerinin hangi fonksiyonlar için ne kadar kaynak tükettiğini belirlemiştir [72].
- *Börklü, Bozbuğa, Sezer ve Özdemir*, KFY ve TRIZ'i KT aşamasına bütünleştirerek engelliler için yeni ve inovatif bir merdiven asansörü tasarımı yapmayı hedeflemiştir.

KFY müşteri taleplerinin tasarım parametrelerine dönüştürülmesi ve tasarım problemlerinin belirlenmesi için, TRIZ'in çelişkiler matrisi ve yaratıcı prensipler araçlarını ise mevcut problemlerin çözümü için kullanmıştır [73].

- *Caligiana, Liveran, Frizziero ve Donnici*, KFY ve TRIZ'i birleştirerek üretim süresini kısaltmak ve optimum maliyete ulaşabilmek için sürdürülebilir bir çözüm yolu sunmayı ve inovatif bir ürün tasarlamayı hedeflemiştir. KFY ile müşteri talepleri tasarım parametrelerine dönüştürülmüştür. Ayrıca, değerlendirme matrisi ile tasarım parametreleri arasındaki önem seviyesini, çözüm ilkelerini oluşturmak için morfolojik matrisi ve bunların önem seviyesini belirlemek için yine değerlendirme matrisini kullanmıştır [74].
- *Russo ve diğerleri*, TRIZ'in Teknolojik dönüşüm kanunlarını kullanarak tasarımın iyileştirme yönü belirlemiş ve sürdürülebilir inovatif bir tasarım yapmayı hedeflemiştir. Bu kapsamda sürdürülebilir ve ekonomik bir tasarıma ulaşmak için bu kanunları kullanarak ilkeler belirlemiştir. Bunlardan ilk ikisi kaynakları değerlendirme, diğerleri ise kaynak tüketimini azaltma ve verimliliği artırma kapsamıdır. Bu bağlamda ideal nihai sonuç, enerji dönüşümünün azaltılması, sistemin dinamik hale getirilmesi vb. kurallar doğrultusunda sürdürülebilir bir tasarım elde etmeye çalışmıştır [17].
- *Makino, Sawaguchi ve Miyata*, fonksiyon tanımlama aşamasında önemli TRIZ araçlarından olan bilimsel etki ve çelişkiler matrisinin kullanıldığı bir yöntem önermiş fonksiyonel analizde zorlanan tasarımcılar için fonksiyonların hızlı ve doğru bir şekilde tanımlanması için yeni algoritmalar oluşturmuştur [75].
- *Silaskar ve Shinde*, DM metodolojisi ile hidrolik küresel valf ağırlığını optimize ederek performansını artırmayı ve aynı zamanda maliyet olarak etkinliğini sağlamayı hedeflemiştir. Bu çalışmada bileşen ağırlıkları için bilgiler toplamış ve FAST diyagramını kullanmıştır [76].
- *Desai, Prajapati ve Patel*, gemi inşaatı projesindeki tekrarlı işleri ve proje süresini azaltmak amacıyla DM metodolojisi araçlarını kullanmış ve çözüm önerileri elde etmiştir. FAST diyagramı ile fonksiyon ilişkilerini geliştirmiş, Fonksiyon-Maliyet-Değer çizelgesi ile fonksiyon maliyetlerini, değerlerini ve değer çalışması yapılacak fonksiyonları belirlemiştir. Bu fonksiyonlar için beyin fırtınası yöntemi ile çözüm önerileri geliştirmiş ve karar verme matrisi ile en uygun çözüm fikrine ulaşmaya çalışmıştır [77].
- *Mendoza, Ahuett ve Molina*, örnek çalışmalar üzerinden KFY, DM ve Üretim ve Montaj için Tasarım (DFMA) yaklaşımlarının tasarım sürecine olan etkilerini incelemiştir.

KFY'den gelen bilgilerle DM süreçlerinin daha odaklanabilir ve yönetilebilir olduğunu ve DM ile KFY'nin daha fazla çözüm ürettiğini belirtmiştir [78].

- *Yan ve diğerleri*, denizaltı güç cihazlarının mekanik yapısal tasarımlarında KFY kullanarak fonksiyonel talepleri tanımlayan ve teknik ihtiyaçları analiz eden bir tasarım süreci önermiştir. Kalite evini kullanarak fonksiyonel talepleri ortaya koymuş ve bunları analiz ederek tasarımda dikkate alınması gereken teknik gereksinimleri belirlemiştir. Ayrıca, korelasyon matrisi ile tasarım kısıtları azaltılarak tasarım yönü açıkça tanımlanmıştır [79].
- *Rianmora ve Werawatganon*, inovatif bir tasarım için Kano Modeli ile KFY'yi birlikte kullanmıştır. Müşterilerle yapılan anketler Kano modeli ile sınıflandırılmış ve müşteri ihtiyaçlarının verimli bir şekilde anlaşılması amaçlanmıştır. KFY ise müşteri taleplerinin tasarım parametrelerine dönüştürülmesinde kullanılmıştır [80].
- *Fazeli ve Peng*, tasarımın erken aşamalarında tasarım kavramlarının üretilmesi ve değerlendirilmesi için genişletilmiş aksiyometik tasarım, KFY ve tasarım yapısı matrisini entegre eden yeni bir yaklaşım önermiştir. Tasarım matrisi ve tasarım yapı matrisi tasarım bileşenleri arasındaki potansiyel çelişkilerin tespiti için uygulanmıştır. KFY ise müşteri gereksinimlerini karşılayan en iyi tasarım kavramının belirlenmesi için kullanılmıştır [81].
- *Zhang, Yang ve Liu*, ergonomik bir ürün tasarım için 4 adımlı bir model önermiştir. Birinci adımda müşteri taleplerini tanımladıktan sonra ikinci adımda önemli ergonomik tasarım alanlarının belirlenmesi için Kalite evi çatısında yer alan korelasyon matrisini kullanmıştır. Üçüncü adımda ise çok sayıda yenilikçi ergonomik tasarım çözümlerini elde etmek için çelişkiler matrisini ve yaratıcı prensipleri kullanmıştır. Dördüncü aşamada ise bu tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesi için bulanık karar verme yöntemi uygulamıştır [82].
- *Sharaf, Ishak, Sapuan ve Yidris*, tasarım gereksinimlerine göre optimum kavramsal tasarımı seçmek ve geliştirmek için yaptıkları tasarımda çelişkiler matrisi ile 40 yaratıcı prensipleri kullanılmıştır. Ayrıca, belirli tasarım özelliklerine yönelik temel çözüm ölçütleri, her bir bileşen için sistematik olarak kavramlar oluşturmak amacıyla morfolojik matris kullanılarak iyileştirilmiştir [83].

Yukarıda yer alan çalışmalarda araştırmacılar genel olarak KT aşamalarının başka bir yöntem ile entegrasyonunu sağlayarak eksikliklerinin tamamlanmasını amaçlamıştır. Bu

kapsamda yapılan çalışmalardan bir kısmında KFY kullanarak KT aşamasını daha müşteri odaklı bir yaklaşımla ele almışlardır [5, 7, 66, 67, 69, 73,74, 79-82]. Bu araştırmalardan bazılarında Kalite evinin çatısında yer alan korelasyon matrisini tasarım parametreleri arasındaki çelişkileri tanımlamak için kullanmışlardır [5, 66, 67, 73, 79, 82]. Bazı araştırmacılar ise KT aşamasında daha yaratıcı ve inovatif özümmler elde etmek için TRIZ'i (genellikle çelişkiler matrisi ve yaratıcı prensipler) kullanmışlardır [5, 66-68, 71, 73, 74, 82, 83]. Diğer araştırmalarda ise genel olarak şu çalışmalar yapılmıştır:

- Fonksiyon ilişkilerinin geliştirilmesi için TRIZ'in fonksiyonel analiz yaklaşımları [68] ve DM metodolojisinin FAST diyagramı aracı kullanılmıştır [69, 72, 77].
- Yeni ürün tasarımında maliyetlerinin düşürölmesi için DM yaklaşımları kullanılmıştır [70]. Ayrıca, mevcut ürün iyileştirilmesi için DM metodolojisi adımları uygulanmıştır [76, 77].
- Yapılacak olan iyileştirmenin yönü belirlenmesi için Teknolojik dönüşüm kanunları kullanılmış ve ayrıca sürdüröllebilir ve ekonomik bir tasarım için kaynak analizi yapılmıştır [17].
- Fonksiyonel analiz adımını kolaylaştırmak için TRIZ'in bilimsel etkiler ile çelişkiler matrisi kullanılmıştır [75].
- Teknik gereksinimlerin elde edilmesi için patent araştırması yapılmıştır [66].

3. KAVRAMSAL TASARIM (KT)

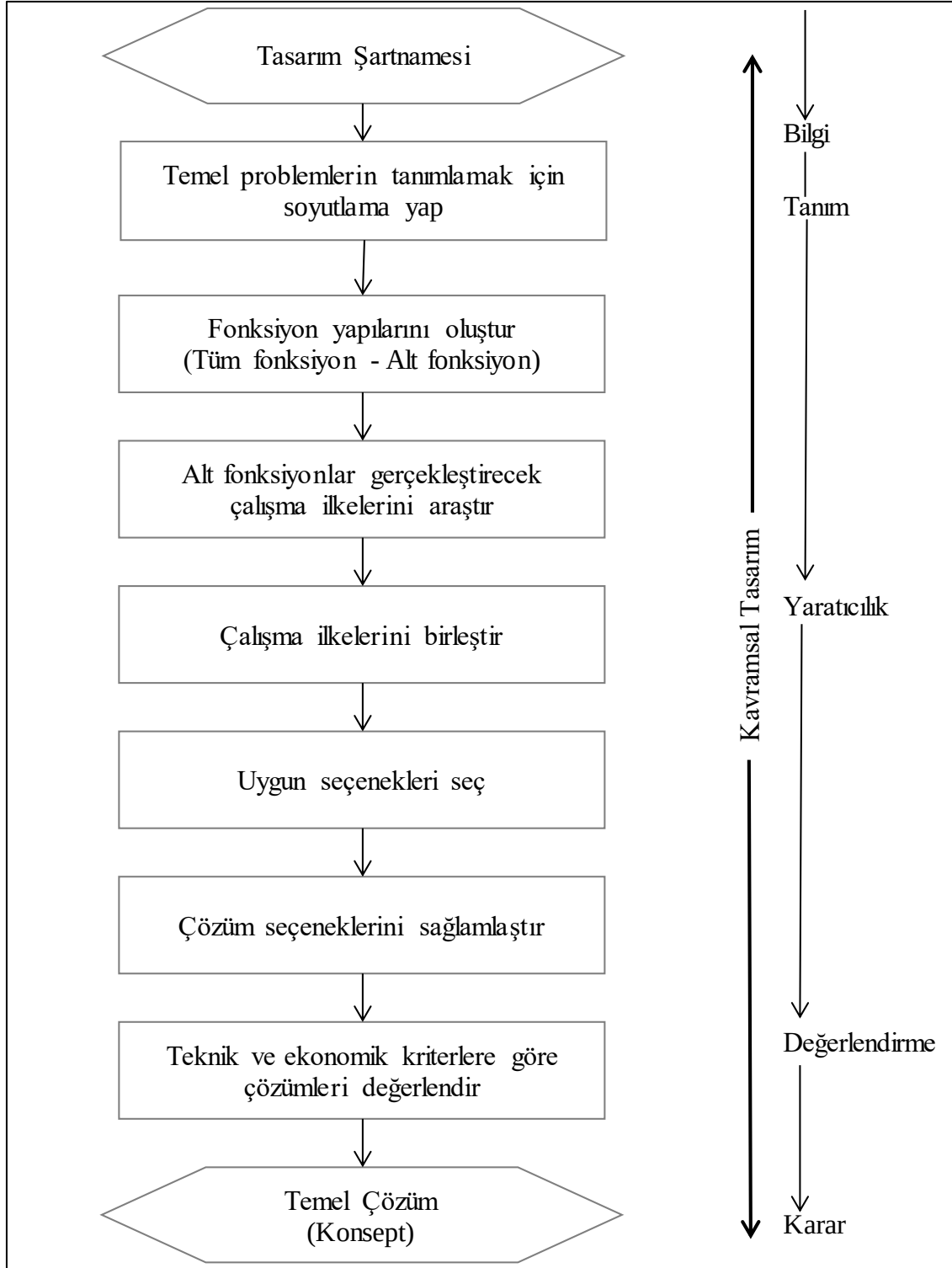
Bu bölümde, Pahl ve diğerleri [4] tarafından geliştirilen sistematik tasarım yaklaşımının KT aşaması tanıtılmaktadır (Şekil 3.1). Bu kapsamda KT süreci; tasarım şartnamesi, fonksiyon şeması, alt ve genel tasarımlar, ön değerlendirme, önemli tasarımlar ve ek seçim işlemleri olmak üzere altı başlıkta ele alınmaktadır. Bu süreç ve başlıklar, “Ekartman ve dever ölçüm aleti” tasarımı örneği ile uygulamalı olarak gösterilmiştir.

3.1. Tasarım Şartnamesi

Tasarım şartnamesi (ihtiyaç listesi), müşteri ihtiyaçları ve tasarım kısıtlamalarını içerir ve böylece problemin tam olarak anlaşılmasını sağlar. Tasarım şartnamesinde genellikle ürün özellikleri, performans ölçütleri, ürün kısıtları gibi veriler yer alır. Bu veriler üçe ayrılabilir:

- Birincisi, temel gereksinimler olup müşteri ve tasarımın başarısı için oldukça önemlidir.
- İkincisi, teknik performans gereksinimleridir ve başka ürünle karşılaştırıldığında önemli hale gelir.
- Üçüncüsü, müşteri ilgisini çeken ve bu ürünü almaya teşvik eden gereksinimlerdir.

Tasarım şartnamesi oluştururken gereksinimlerin hangi koşullar altında karşılanması gerektiği açıkça belirtilir ve gereksinimler, İstek (İ) ve Arzu (A) olarak iki gruba ayrılırlar. İstek (İ), tüm koşullar altında karşılanacak; Arzu (A) ise, teknolojik ve ekonomik açıdan uygunsa karşılanacak gereksinimleri ifade eder. Ayrıca, arzular; çok, orta ve az önemli şeklinde de tasnif edilebilir.



Şekil 3.1. KT sürecine ait akış şeması [4]

Çizelge 3.1’de ekartman ve dever ölçüm aletine ait tasarım şartnamesi yer almaktadır. Burada gereksinimler istek (İ) ve arzu (A) şeklinde düzenlenmiştir. Ayrıca, arzular için de önem seviyesi belirlenmiştir.

Çizelge 3.1. Ekartman ve dever ölçüm aleti tasarım şartnamesi

No	İ/A	Önem Seviyesi	Talepler
1	İ		Ekartman Ölçüm Aralığı: -15 mm / +50 mm
2	İ		Dever Ölçüm aralığı: ± 225 mm
3	İ		Ölçüm hassasiyeti : 1mm
4	İ		Uzunluk < 1700 mm
	A	Az	Genişlik < 105 mm
	A	Az	Yükseklik < 300 mm
5	İ	Az	Aparatın ağırlığı maksimum 3 kg olmalıdır.
6	İ		Aparat kullanılmadığı durumlarda az yer kaplamalıdır.
7	İ		Suya karşı korumalı olmalı ve raylar arası yalıtımı sağlamalıdır.
8	İ		Paslanmaz malzemeden yapılmalıdır.
9	İ		Çalışma sıcaklığı -10 °C - 50°C olmalıdır.
10	İ		En az 8 saat çalışma süresi sağlamalıdır.
11	A	Orta	Bakımı kolay olmalıdır.
12	A	Çok	Maliyeti düşük olmalıdır.
13	A	Az	İmalatı kolay olmalıdır.
14	A	Orta	Tüm ekartman tiplerine uygun olmalıdır.

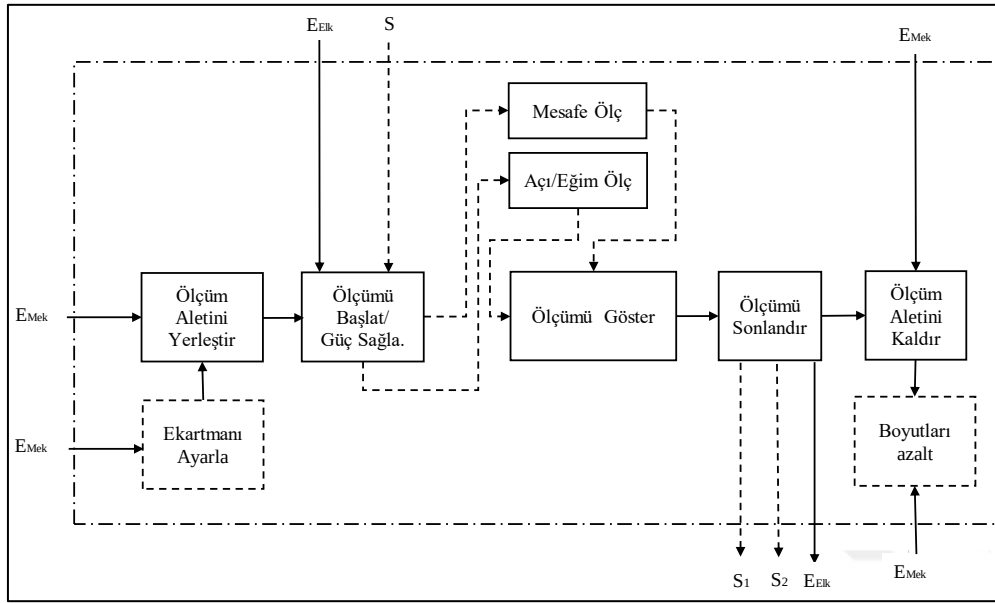
3.2. Fonksiyon Şeması

Fonksiyon şeması, tasarım şartnamesinde yer alan taleplerin fonksiyonlara dönüştürülmesi için kullanılır ve girdiler ile çıktılar arasındaki ilişkileri belirtir. Bu süreçte fonksiyonlar önce genel ve önemli ifadelerle indirgenir. Basit sistemlerde sadece sistemin ana fonksiyonunu gösteren fonksiyon şeması (tüm fonksiyon) yeterli iken, karmaşık sistemlerde alt fonksiyonlar için de fonksiyon şeması oluşturulur. Girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiler enerji dönüşümü (E), malzeme dönüşümü (M) ve sinyal dönüşümü (S) olmak üzere üç şekilde tanımlanır.

Ekartman ve dever ölçüm aletine ait tüm fonksiyon şeması ile alt fonksiyonları da içeren fonksiyon şeması sırasıyla Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Burada; ölçüm aleti demiryolu hattına kuvvet uygulanarak (E_{Mek}) yerleştirilmekte ve enerji verilerek (E_{Elk}) ölçüm yapılmasına başlanmaktadır. Daha sonra ölçüm aleti mesafe veya eğim/açı ölçerek ekartman ve dever ölçümü yapmakta, sinyaller ($S_{1(Mesafe)}$ ve $S_{2(Açı/Eğim)}$) aracılığı ile de bu ölçümü ekranda göstermektedir.



Şekil 3.2. Ekartman ve dever ölçüm aletine ait tüm fonksiyon şeması



Şekil 3.3. Ekartman ve dever ölçüm aletine ait fonksiyon şeması

3.3. Alt ve Genel tasarımlar

Bu aşamada geniş çözüm uzayına ulaşmak için her alt fonksiyona çok sayıda çözüm ilkesi belirlenir. Çünkü fonksiyon şemasının oluşturulması ile görev daha basit ve açık hale getirilmiş, böylelikle çözüm ilkelerinin oluşturulması kolaylaştırılmıştır [4]. Her fonksiyon için oluşturulan çözüm ilkeleri tüm fonksiyonu karşılayacak şekilde tekrar birleştirilerek çözüm seçenekleri oluşturulur. Daha sonra çözüm seçenekleri uygulanabilir çözüm uzayına daraltılır ve sadece uygun çözüm ilkeleri seçilir.

Şekil 3.4'de ekartman ve dever ölçüm aleti alt fonksiyonlarına ait çözüm ilkelerinin yer aldığı morfolojik kart gösterilmektedir. Burada, Şekil 3.3'de yer alan alt fonksiyonlar ile müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak fonksiyonlar morfolojik kartın satırlarına yazılmış ve her biri için çözüm ilkeleri oluşturulmuştur. Alt fonksiyonların çözüm ilkelerinin

birleştirilmesiyle teorik olarak çok sayıda farklı çözüm seçeneği oluşturmak mümkündür. Ancak, burada sadece uygulanabilir beş farklı çözüm seçeneği oluşturulmuştur (Çizelge 3.2).

MORFOLOJİK KART					
Sıra No	Alt Fonksiyonlar	1	2	3	4
1	Mesafe ölç				
		Lazer Sensör	Ultrasonik Sensör	Kayar Cetvel	Potansiyometre
2	Açı/Eğim ölç	Kapasitif Eğim Sensörü	Resistif Eğim Sensörü	Optik Eğim Sensörü	Manyetik Eğim Sensörü
3	Boyutları azalt				
		İç içe geçme	Katlama	Bölümleme	
4	Ağırlığı azalt	Kompozit Malzeme	Delikli Yapı	Alüminyum Malzeme	
5	Ekartman/Uzunluk ayarla				
		Bölümleme	İç içe geçme		
6	Güç sağla	Ni-Cd	Li-Po	Li-Ion	Zn-C
7	Yalıtım (Elektriksel) sağla	Plastik	Kauçuk	Seramik	Mika
8	Ölçümü göster	Dijital	Analog		

Şekil 3.4. Ekartman ve dever ölçüm aletine ait morfolojik kart

Çizelge 3.2. Ekartman ve dever ölçüm aletine ait tasarım varyantları

Seçenek-1	1.1	2.3	3.2	4.3	5.2	6.2	7.1	8.1
Seçenek-2	1.3	2.1	3.1	4.1	5.2	6.3	7.4	8.2
Seçenek-3	1.2	2.2	3.3	4.3	5.1	6.3	7.1	8.1
Seçenek-4	1.1	2.4	3.2	4.2	5.1	6.2	7.3	8.2
Seçenek-5	1.1	2.1	3.2	4.1	5.1	6.2	7.2	8.2

3.4. Ön Değerlendirme

Ön değerlendirme ile önceki adımda belirlenen çözüm seçenek sayısı azaltılması için daha zayıf / yetersiz çözümlerin elenmesi amaçlanır. Ön değerlendirme genelde kaba bir seçim işlemini içerir. Bu amaçla bir “seçim kartı” kullanılır. Seçim kartında bazı ölçütler uygun olmayan çözümleri elemek, bazı ölçütler ise tercih yapmak için kullanılır [4]. Ayrıca, bu ölçütlerin dışında başka ölçütler de kullanılabilir.

Şekil 3.5’de ekartman ve dever ölçüm aleti tasarımı çözüm seçeneklerine ait ön değerlendirme işleminde kullanılan seçim kartı gösterilmiştir. Burada seçenekler; tüm işlemlere uyumlu olma, tasarım şartnamesini karşılama, ilke/prensip olarak gerçekleştirilebilirlik, izin verilebilir maliyet, emniyet şartlarını karşılama, tasarım şirketince tercih edilebilme ve yeterli bilgi ölçütleriyle değerlendirilmiştir. Çizelgedeki ilk dört ölçüt uygun olmayan çözümleri elemek için kullanılmıştır. Seçim ve karar ölçütleri (+, -, ?, !) kullanılarak uygun olan çözüm seçenekleri belirlenmiştir. 1 nolu seçenek maliyeti yüksek olduğu için elenmiş, 4 nolu seçenek ise maliyetinin yüksek olması ve ayrıca yeterli bilgi olmadığı için tercih edilmemiştir.

SEÇİM KARTI									
Çözüm Seçenekleri	<u>Seçim Ölçütleri</u>							<u>Karar</u>	
	+ Evet							+ Çözümü sürdür.	
	- Hayır							- Çözümü çıkar.	
	? Bilgi Eksikliği							? Bilgi topla.	
	! Tasarım şartnamesini kontrol et.							! Şartnameyi kontrol et.	
	Tüm işlemlere uyumlu.								
	Tasarım şartnamesini karşılama.								
	Prensipte gerçekleştirilebilir.								
	İzin verilebilir maliyet.								
	Emniyet şartlarını karşılama.								
Tasarım şirketince tercih edilebilir.									
Yeterli Bilgi.									
	A	B	C	D	E	F	G	GÖRÜŞLER	Karar
ÇS 1	+	+	+	-	+	?	+	Maliyeti yüksek.	-
ÇS 2	+	+	+	+	+	+	+	Uygun çözüm olabilir	+
ÇS 3	+	+	+	+	+	?	+	Uygun çözüm olabilir	+
ÇS 4	+	+	+	?	+	?	?	Maliyeti yüksek olabilir. Bilgi topla.	?
ÇS 5	+	+	+	+	+	+	+	Uygun çözüm olabilir.	+

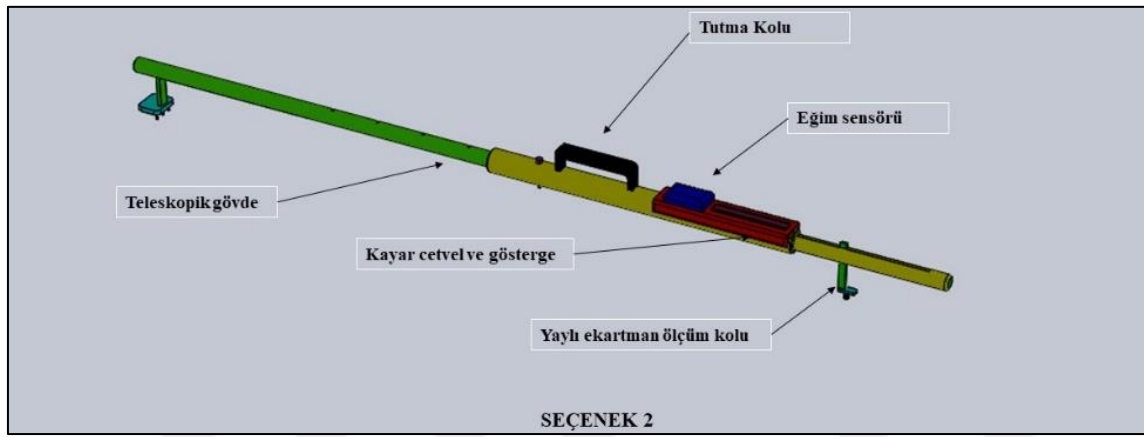
Şekil 3.5. Ekartman ve dever ölçüm aleti için seçim kartı

3.5. Önemli Tasarımlar

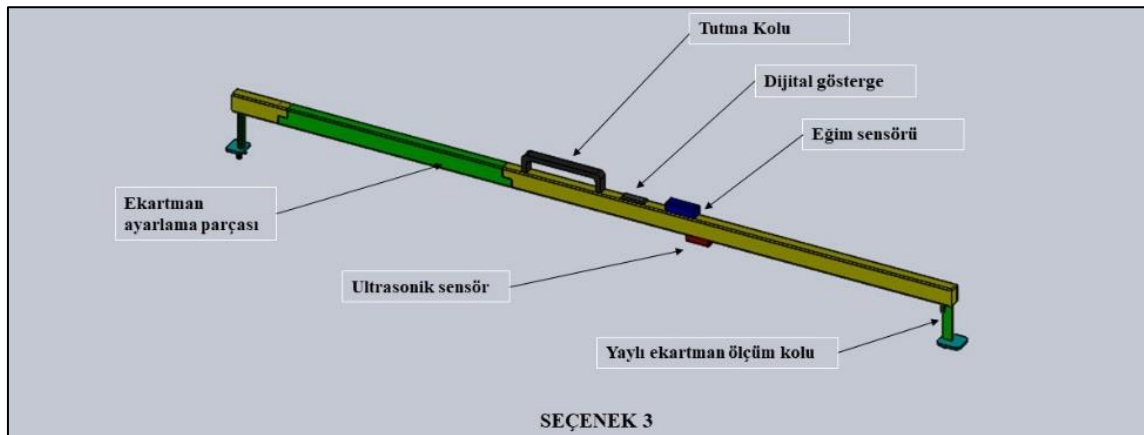
Ön değerlendirme işlemi sonrası yeni değerlendirme ve seçim işlemleri yapılabilir. Ancak, önce tasarım seçeneklerinin teknik ve ekonomik açıdan yapılabilirliği gösterilmelidir. Bu

amaçla uygun çözümler hakkında yeterli bilgiler toplanmalı ve daha iyi bir değerlendirme yapılmalıdır. Bu süreçte kabullere dayalı kaba hesaplar yapılabilir, basit kroki ve resimler çizilebilir, analiz ve gösterim için modeller oluşturulabilir, malzemeler hakkında pazar araştırması yapılabilir, performans ve iyileştirme kapsamlı nicel ifadeler elde edilebilir [4].

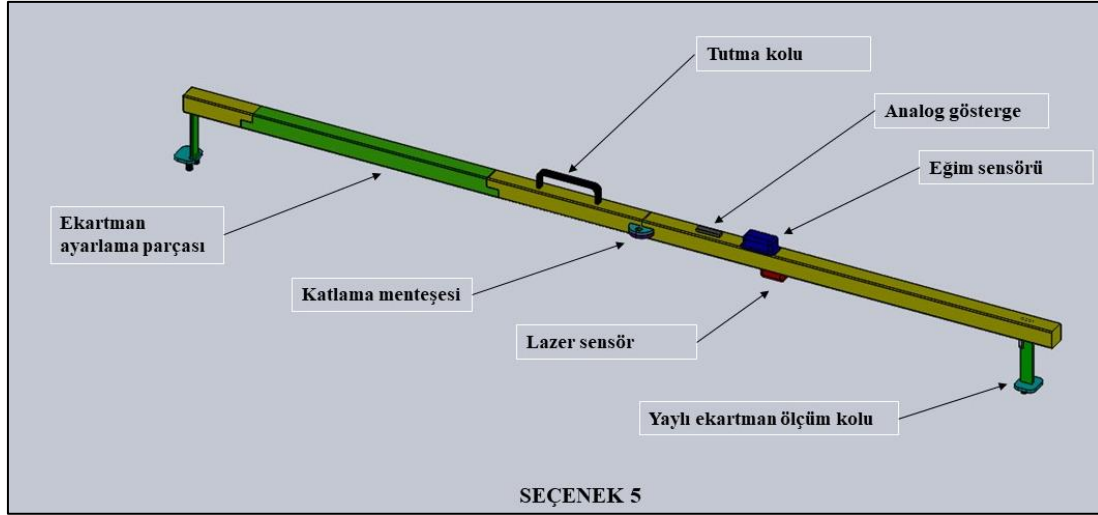
Bu adımda ekartman ve dever ölçüm aleti için basit çizimler yapılmış (Resim 3.1, Resim 3.2 ve Resim 3.3) ve her bir çözüm seçeneği için uzunluk, ağırlık, ölçüm hassasiyeti, ölçüm aralığı ve maliyet gibi parametreler yaklaşık olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.3).



Resim 3.1. Önemli tasarım seçenekleri (Seçenek-2)



Resim 3.2. Önemli tasarım seçenekleri (Seçenek-3)



Resim 3.3. Önemli tasarım seçenekleri (Seçenek-5)

Çizelge 3.3. Önemli tasarım seçeneklerinin karşılaştırması

Ölçütler	Seçenek 2	Seçenek 3	Seçenek 5
Uzunluk (mm)	1 675	1 585	1 470
Genişlik (mm)	60	45	40
Yükseklik (mm)	175	179	159
Uzunluk (mm)(Kullanılmadığı)	1 225	990	805
Ekartman ölçüm hassasiyeti (mm)	1	1	1
Ekartman ölçüm aralığı (m)	0,65	0,65	0,65
Dever ölçüm hassasiyeti (mm)	$\pm 0,5$	$\pm 0,0001$	$\pm 0,5$
Dever ölçüm aralığı (°)	± 90	± 30	± 90
Ağırlık (kg)	1,1-1,5	2-2,2	1-1,4
Maliyet (TL)	>12 000	>15 000	>20 000

3.6. Ek Seçim İşlemleri

Seçim kartı sonrası elde edilen tasarım seçenekleri daha hassas ve detaylı seçim işlemlerine tabi tutulabilir. Bu amaçla teknik, ekonomik, emniyet ve çevresel kriterler kullanılabilir. Bunun için yapılacak değerlendirme sürecinden önce tasarım amaçları belirlenir. Tasarım amaçları doğrudan müşterinin tasarım şartnamesinde yer alan istek ve arzularına göre veya genel sınırlayıcılardan belirlenir. Burada amaçlar daha yüksek karmaşıklık düzeyinden alt seviyeye adım adım sürer. Herhangi bir seviyedeki önem faktörler toplamı her zaman 1'e eşit olmalıdır [4].

Ekartman ve dever ölçüm aletine ait amaçlar ağacı Ek-2' de gösterilmiştir. Ergonomik ve güvenilir ölçüm aletine ait amaçlar ağacı ihtiyaç listesinden yer alan gereksinimlere göre üç

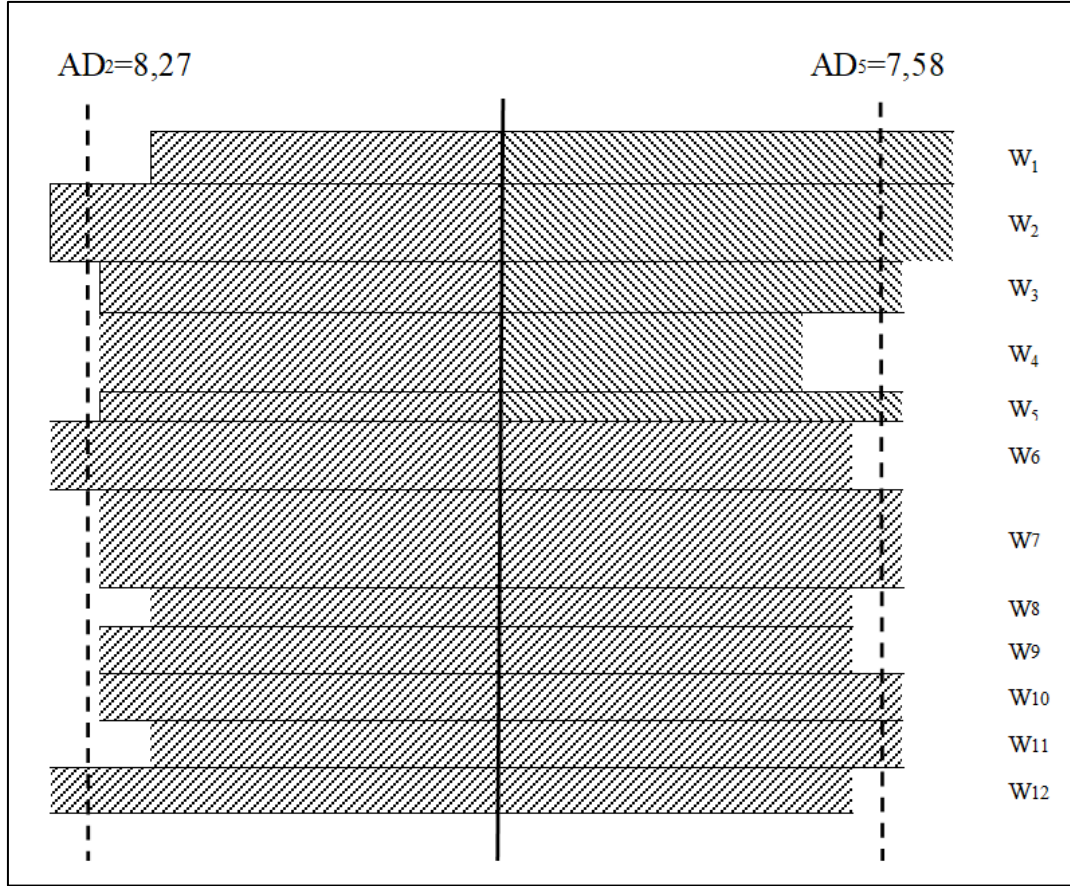
seviyede belirlenmiş ve düzenlenmiştir. Alt seviyelerde amaçlar alt amaçlara ayrılmış ve bağıl önem seviyeleri hesaplanmıştır. W_t genel önem seviyesini gösterirken W_{11}, W_{12}, W_{13} vb. alt amacın aynı amaç seviyesindeki önem seviyesini göstermektedir. Buna göre ölçüm aleti için en önemli amaçlar sırasıyla düşük maliyet (0,20), yüksek hassasiyet (0,15), düşük ağırlık (0,12) ve kolay montaj (0,12) şeklindedir.

Amaçlar ağacından sonra, değerlendirme sürecinin ilk adımında değerlendirme çizelgesi oluşturulur. Değerlendirme çizelgesinde öncelikle tasarım amaçlarına karşılık gelen değerlendirme ölçütleri belirlenir. Bu ölçütler mümkün olduğunca ölçülebilir ve somut ifadelerle belirtilir. Daha sonra her bir parametre için çözüm seçeneklerine değer ataması yapılır. Bu değerlendirme işlemi değer analizi kullanılarak 0-10 aralığında yapılabileceği gibi VDI 2225 kılavuzu kullanılarak 0-4 aralığında da yapılabilir [4].

Ekartman ve dever ölçüm aletine ait değerlendirme çizelgesi Ek-2’de gösterilmiştir. Amaçlar ağacı ile belirlenen ölçütler bağıl ağırlıklarıyla birlikte çizelgenin satırlarına yazılmıştır. Arkasından her bir ölçüt teknik bir parametre ile eşleştirilmiş ve bunlara 1-10 arası değerler belirlenmiştir. Daha sonra ölçüt değerleri ile bağıl ağırlıkları birlikte değerlendirilerek ağırlıklı değerler hesaplanmıştır. Buna göre değer seviyesi en düşük olan 3 nolu çözüm seçenek en zayıf çözüm olmuş ve elenmiştir.

Değerlendirme sürecinin ikinci adımında ise zayıf noktalar araştırılmalıdır. Zayıf noktalar ise ortalama altı değerlendirme ölçütlerinden belirlenebilir. Bunun için değer profili diyagramı oluşturulur. Bu diyagramda yer alan çubuk şeklindeki dikdörtgenlerin uzun kenarları değerleri, kısa kenarları ise önemlere yani ağırlıklara karşılık gelir [4].

Şekil 3.6’da ekartman ve dever ölçüm aletine ait değer profili grafiği gösterilmiştir. Burada, değerlendirme ölçütleri ağırlıkları ile orantılı olarak farklı kalınlıklarda oluşturulmuştur. Burada 5 nolu çözüm seçeneği daha dengeli bir dağılım ortaya koyduğundan en önemli kavram olarak seçilmiştir.



Şekil 3.6. Ekartman ve dever ölçüm aleti tasarımına ait değer profili grafiği

3.7. Değerlendirme ve Son Karar

KT süreci sonrasında 5 nolu tasarım seçeneği en uygun seçenek olarak belirlenmiştir. Bu tasarım kare profil bir gövdeye sahip lazer sensör ile ekartman ölçümü, kapasitif eğim sensörü ile dever ölçümü yapabilen bir ölçüm aletidir. Kullanılmadığı durumlarda katlanarak boyutları azaltılabilmektedir. Ekartman ayarlama mekanizması olarak değiştirilebilir ara parça kullanılmaktadır. Gerekli olan güç Li-Po bataryalardan sağlanmakta ve yalıtım malzemesi olarak kauçuk malzeme kullanılmaktadır. Ölçümler ise analog olarak gösterilmektedir.

4. KAVRAMSAL TASARIMDA YARATICI YÖNTEMLER KULLANILMASI

Bu bölümde Pahl ve Beitz'in KT yaklaşımının başka bazı yaratıcı yaklaşımlar ile nasıl bütünleştirileceği ve destekleneceği incelenmektedir. Bu amaçla önce bazı yaratıcı yöntemlerin KT'ye nasıl entegre edileceği gösterilecek ve daha sonra da bu yöntemler kısaca açıklanacaktır.

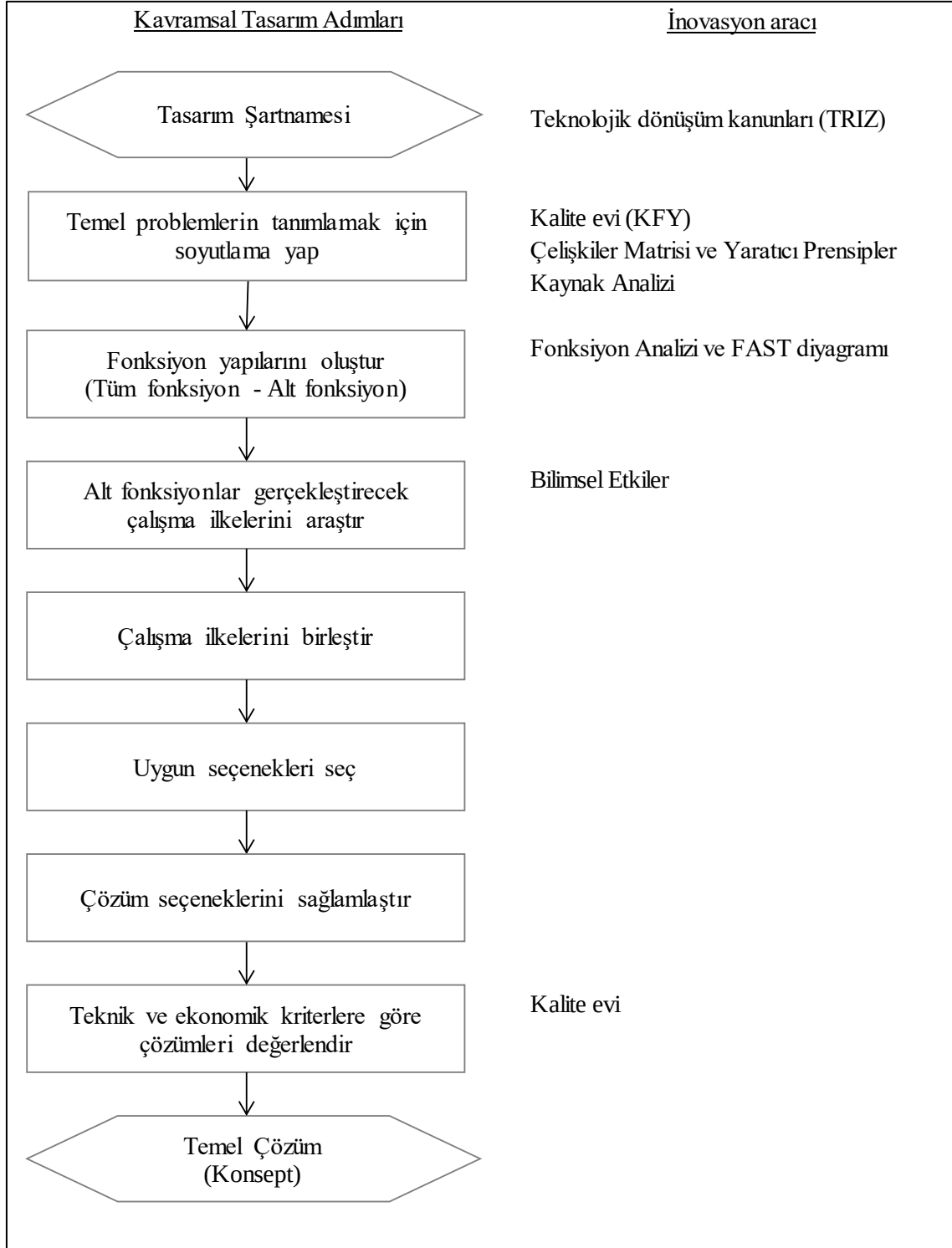
4.1. Yaratıcı Yöntemler

KT sürecinde müşteri istek ve beklentilerini daha iyi karşılayacak kaliteli tasarımlar yapabilmek için yaratıcı yöntemler ile desteklenmesi benimsenmiştir (Şekil 4.1). Buna göre;

- Teknolojik dönüşüm kanunları tasarım şartnamesi oluşturmada,
- Kalite evi, temel problemleri tanımlama ve önemli tasarım parametrelerini belirlemede,
- Çelişki matrisi ve yaratıcı prensipler önemli tasarım problemlerini çözmede,
- Kaynak analizi ise mevcut kaynakları etkin kullanma ve teknik sistemi daha ideal hale getirmede,
- Fonksiyon analizi ve FAST diyagramı fonksiyon şeması oluşturma ve fonksiyonları ilişkilendirmede ve
- Bilimsel etkiler daha geniş bir çözüm uzayı elde etmede kullanılmıştır.

4.2. Teknolojik Dönüşüm Kanunları

TRIZ felsefesi teknik sistem gelişim süreçlerinin gelişigüzel olmadığını ve belirli bazı kuralları takip ettiğini vurgular [45]. Bu kurallar ürün tasarımında ve yeni teknoloji ve ürünler geliştirilmesinde kullanılabilir. Altshuller, binlerce patenti inceledikten sonra teknik sistemlerin değişimini gösteren 8 kanun belirlemiştir. Bu kanunlar; tamamlanma, enerji akış yolunu kısaltma, ritimleri uyumlu yapma, mükemmellik derecesini artırma, alt sistemlerin düzensiz dönüşümü, üst (süper) sisteme geçme, alt (bileşen) sisteme geçme ve madde-alan etkileşimini artırma şeklinde sıralanabilir [60].



Şekil 4.1. KT sürecinde yaratıcı yöntemler kullanılması

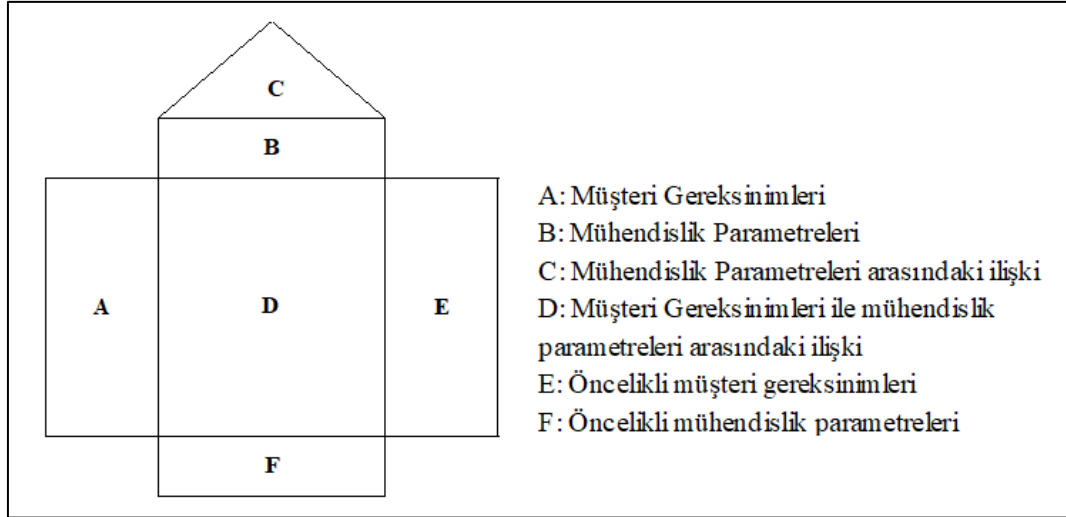
Fey ve Rivin, bunlara ek olarak Artan Dinamizm/Esneklik Kanununu tanımlamıştır [45]. Bu kanunlardan, mükemmellik derecesini artırma, üst sisteme geçme, alt sistemlerin düzensiz dönüşümü ve artan dinamizm/esneklik kanunları teknolojik sistemlerin dönüşümünün her aşamasında uygulanabilir.

Mükemmellik derecesini artırma kanununa göre teknik sistemler daha basit ve ekonomik olmalı, daha çok işlevi karşılayabilmeli, daha az kaynak tüketmeli ve mevcut problemleri çözerek daha mükemmel hale gelmelidir. Diğer kanunlara göre ise genel olarak insan faktörü ortadan kaldırılmalı ve işlevlerin teknik sistemler tarafından yapılması sağlanmalı, teknik ve fiziksel çelişkiler çözülmeli, değişen çevre ve performans şartlarına uyum sağlaması için teknik sistem daha esnek bir yapıya sahip olmalıdır.

4.3. Kalite Evi

Kalite evi, KFY'nin ürün tanımlama aşamasında kullanılır ve müşteri ihtiyaçları ile ürün tasarımı arasındaki ilişkileri sistematik olarak gösteren, tasarım sürecinde öncelikleri belirlemeye yarayan bir araçtır. Kalite evi en genel haliyle altı bileşenden oluşur (Şekil 4.2) [13].

- A. *Müşteri gereksinimleri*: Bu aşamada müşteri gereksinimlerinin “NELER” olduğu araştırılır. Genel ve muğlak ifade edilen müşteri gereksinimleri daha açık ifade edilir.
- B. *Mühendislik parametreleri*: Burada müşteri gereksinimlerinin “NASIL” karşılanacağını belirlemek için bu gereksinimler teknik parametrelere dönüştürülür. Bu parametreler ile müşteri talepleri teknik bir dilde ifade edilir.
- C. *Mühendislik parametreleri arasındaki ilişki*: Kalite evinin çatı matrisi veya korelasyon matrisi olarak da tanımlanan bu ilişki tasarım parametreleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesini sağlar. Ayrıca müşteri gereksinimleri arasındaki çelişkiler de belirlenir.
- D. *Müşteri gereksinimleri-Mühendislik parametreleri arasındaki ilişki*: Her bir tasarım parametresinin müşteri ihtiyaçlarını ne kadar etkilediğini ve bunlarla ne kadar ilgili olduğunu tespit etmeyi sağlar. Bu ilişkiler sayılar veya semboller ile yapılabilir. Sayısal işaretleme sonrası her bir tasarım parametresi için önem derecesi belirlenir.
- E. *Öncelikli müşteri gereksinimleri*: Müşteri talepleri genelde çok fazla olduğundan bunları önem ve öncelik sırasına göre düzenlenir.
- F. *Öncelikli mühendislik parametreleri*: İlişki matrisi ve öncelikli müşteri gereksinimlerine bağlı olarak mühendislik parametreleri önem sırasında düzenlenir.



Şekil 4.2. Kalite evinin genel yapısı [13]

4.4. Çelişki Matrisi ve Yaratıcı Prensipler

Altshuller, binlerce patenti inceledikten sonra çok sayıda sistem çelişkisi ortaya koymuş ve bu çelişkilerin çözümü için 40 yaratıcı prensip oluşturmuştur [45]. Çelişki, iki zıt ürün özelliği veya işlevin aynı anda olması gerektiğinde ortaya çıkan teknik bir kavramdır.

Çelişkiler, teknik çelişki ve fiziksel çelişki olmak üzere ikiye ayrılır [60]. Teknik çelişki, bir mühendislik parametresini iyileştirmeye çalışırken başka bir parametrenin kötüleşmesini içerir. Teknik çelişkilerin çözümü için TRIZ'in en çok kullanılan aracı olan [61] 39x39'luk çelişki matrisi kullanılır [60]. Burada, satırlarda yer alan mühendislik parametreleri iyileşen özelliği gösterirken, sütunlardaki mühendislik parametreleri kötüleşen veya kötüleşmesi istenmeyen parametreleri göstermektedir. Her bir çelişki için kullanılan en çok 4 yaratıcı prensip çelişki matrisine yazılmıştır. Örneğin, sabit nesnenin ağırlığı ve sabit nesnenin uzunluğu çelişkisi için 40 Yaratıcı Prensip çözüm önerileri 10, 1, 29 ve 35 nolu olanlardır (Şekil 4.3). Bunlar;

- Öncü eylem (10)
- Dilimlemek, bölmek, parçalamak (1)
- Pnömatik ve hidrolik yapılar kullanma (29)
- Fiziksel ya da kimyasal durum değişikliği (35)

Burada, “Dilimlemek, bölmek, parçalamak” olarak adlandırılan 1 no’lu prensibe göre;

- Bir nesne birbirinden bağımsız farklı parçalara bölünebilir.
- Nesne kolayca sökülebilir veya kolayca takılabilir hale getirilebilir.
- Nesnenin bölümlene derecesi artırılabilir.

ÇELİŞKİ MATRİSİ	Kötüleşen özellik	Hareketli nesnenin ağırlığı	Sabit nesnenin ağırlığı	Hareketli nesnenin uzunluğu	Sabit nesnenin uzunluğu	.	.
<i>İyileşen özellik</i>		1	2	3	4	5	6
1. Hareketli nesnenin ağırlığı	+			15,8 29,34			
2. Sabit nesnenin ağırlığı			+		10,1 29,35		
3. Hareketli nesnenin uzunluğu		8,15, 29,34		+			
4. Sabit nesnenin uzunluğu			35,28 40,29		+		
.						+	
.							+

Şekil 4.3. Çelişki matrisi

Fiziksel çelişki ise birbirine zıt iki özelliğin veya parametrenin teknik sistemde aynı anda olması gerektiği durumlarda ortaya çıkar. Bu çelişkilerin çözümü için ise ayırma prensipleri kullanılır. Ayırma prensipleri; zamanda ayırma, uzayda ayırma, koşulda ayırma ve ölçekte ayırma olmak üzere 4’e ayrılır [60]. Zamanda ayırma prensibi birbirine zıt özelliklerin farklı zamanlarda gerçekleşmesini önerirken, uzayda ayırma prensibi farklı yerlerde gerçekleşmesini önerir. Koşulda ayırma prensibi ise aynı yerde ve aynı zamanda olması gereken durumlar için kullanılır.

4.5. Kaynak Analizi

Kaynaklar kavramı, her teknik sistemin normal fonksiyonundan daha çok kapasiteye sahip olduğunu ve bu atıl kapasitenin ortaya çıkarılarak sistemin daha mükemmel hale

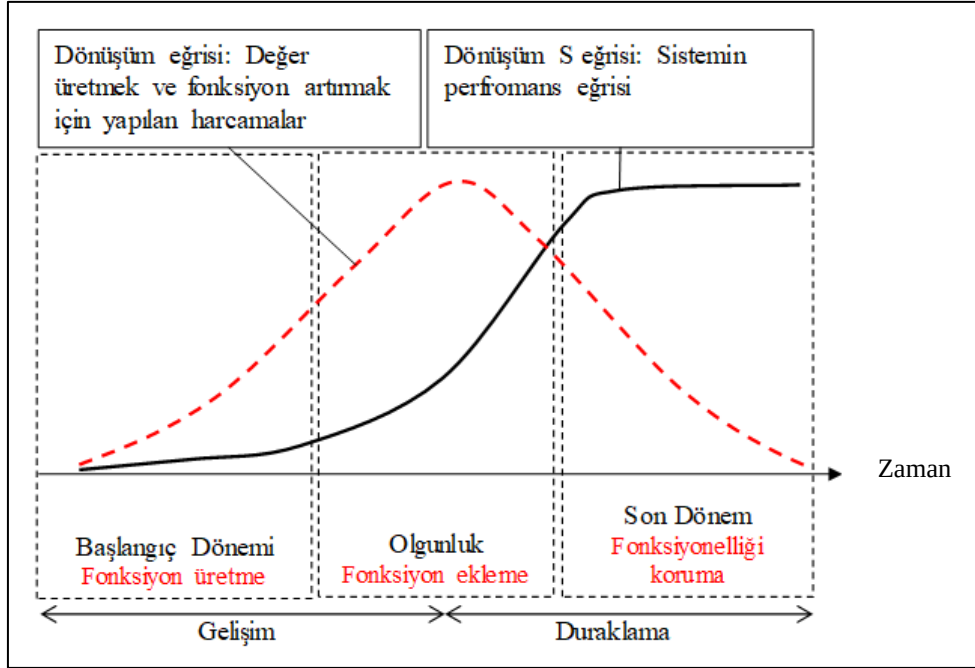
getirilebileceğini ifade eder [84]. TRIZ, elde edilen faydayı maksimuma çıkartmak için kaynakları akıllı ve bilinçli bir şekilde kullanmayı önerir [60]. Bu yaklaşım, doğru kaynakların kullanılması için çözümün her zaman problemin olduğu alanda veya bu alana yakın yerlerde aranmasını öngörür.

Sisteme fayda üreten fonksiyonları ve özellikleri sağlayan sistem içinde veya çevresinde yer alan her şey kaynak olarak tanımlanır (Çizelge 4.1) [60]. Ayrıca kaynaklar iç kaynaklar ve dış kaynaklar olmak üzere iki gruba ayrılabilir [17]. İç kaynaklar, çelişkinin bulunduğu alanda veya çelişkinin olduğu sürede veya öncesinde bulunan ulaşılabilir bütün maddeler ve alanlardır. Dış kaynaklar ise, çelişkinin olduğu alan yakınlarında veya çelişkinin oluş zamanı öncesinde bulunan madde ve alanlar olarak tanımlanabilir.

Çizelge 4.1. Teknik sistemler için kaynak örnekleri

<i>Olası girdiler</i>	Malzeme, alan, hareket, bileşenler arası etkileşim, zaman, uzay, mühendislik ve bilimsel bilgiler, zararlı girdiler
<i>Problem alanı</i>	Kullanılabilir sistem, madde ve bileşenler, bileşen çevresindeki doğal kaynaklar (hava, yer çekimi, sıcaklık vb.), boşluk, problemin oluş zamandaki her olay, problemin sebepleri, zararları vb.
<i>Sistem/Bileşen özellikleri</i>	Hacim, renk, simetri, malzeme özellikleri, dayanım, yüzey pürüzlülüğü vb.
<i>Sistem etkileşimleri</i>	Basınç, sıcaklık, koku, gürültü, enerji akışı, bilgi, ses vb. etkileşim oluşturan her türlü alan veya olay.
<i>Ölçek</i>	Sistem çevresi veya moleküler seviyedeki detaylar
<i>Zaman</i>	İşlevin süresi, işlev öncesi ve sonrasındaki süre ve taşıma, dağıtım, depolama süreleri vb.

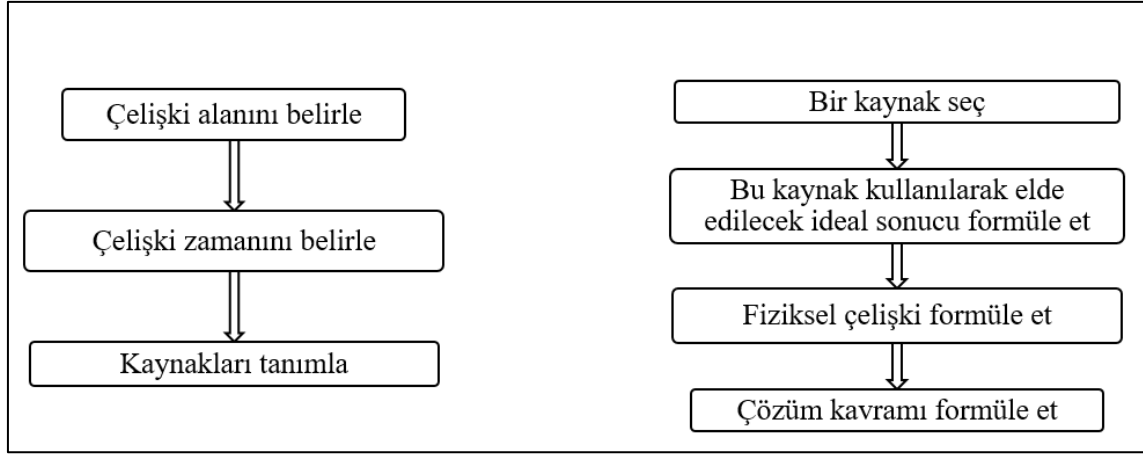
Teknik sistemler yaşam döngüsü boyunca faydalı fonksiyonları veya özellikleri yerine getirmek ve daha ideal hale gelebilmek için sistem içindeki veya çevresindeki bu kaynakları tüketirler. Şekil 4.4’de verilen ve Salamatov tarafından oluşturulan model ürün ömrü boyunca ideallik artış eğilimi (mükemmellik derecesini artırma) ile kaynakların tüketimi arasındaki ilişkiyi göstermektedir [85]. Buna göre teknik sistemler başlangıç döneminde artan performans, fonksiyonellik veya mükemmellik ile birlikte daha fazla kaynak kullanırlar. Olgunluk döneminde ise ilave edilen fonksiyonlar devam eder ve kaynak tüketimi maksimum noktaya ulaştıktan sonra azalmaya başlar. Son dönemlerinde ise sistem performansı arzu edilen seviyeye ulaştığı için ihtiyaç duyulan kaynak azalır.



Şekil 4.4. Mükemmelliğin gelişim eğilimi ve kaynak tüketimi ilişkisi [85]

Bu çalışma kapsamında mevcut kaynakların tanımlanması için yaratıcı problem çözme algoritmasının 4. ve 5. adımı kullanılmıştır (Şekil 4.5) [60]. Buna göre öncelikli olarak çelişkinin olduğu yer ve oluş zamanı belirlenerek sistem içinde veya çevresinde olan kaynaklar belirlenir. Daha sonra ise seçilen kaynak kullanılarak mükemmel nihai sonuç tanımlanır. Mevcut durum ile mükemmel nihai sonuç arasındaki fiziksel çelişkiler belirlenir ve ayırma prensipleri kullanılarak çelişkiler çözülür.

Mükemmellik, tüm problem çözme süreçlerinde en önemli kavramdır [60]. Mükemmel sistem herhangi bir girdi kullanmaz veya zararlı bir etki oluşturmaz. Bu nedenle her teknik sistem ömrü boyunca daha mükemmel hale gelme eğilimindedir ve yapılan her bir iyileştirme sistemin mükemmele yaklaştığı anlamına gelir. Bu kavramın ulaşabileceği en son nokta mükemmel nihai sonuç olarak tanımlanır ve teknik sistemin tüm problemlerinin çözülmesinden sonraki durumunu ifade etmek için kullanılır [86].



Şekil 4.5. a) Kaynak analizi adımları, b) Kavram geliştirme adımları

Mükemmellik, matematiksel olarak teknik sistemden elde edilen tüm faydaların maliyetler ile zararların toplamına oranı şeklinde tanımlanır (Eş. 4.1) [60]. Burada faydalar, sistemden elde edilen faydalı çıktıları ifade ederken, zararlar ise istenmeyen zararlı çıktıları ifade eder. Başka bir tanımlamaya göre ise mükemmellik kavramını teknik sistemin fonksiyonelliğinin maliyet ile oluşan problemlerin toplamına oranı şeklindedir (Eş. 4.2) [45]. Fonksiyonellik terimi fonksiyon sayısı ve fonksiyon performansı gibi parametreler, maliyetler ise parasal miktar, boyut, ağırlık, parça sayısı gibi niceliksel birimler ile ifade edilebilir.

$$İdeallik = \frac{Faydalar}{Maliyet + Zararlar} \quad (4.1)$$

$$İdeallik = \frac{\sum Fonksiyonellik}{\sum Maliyet + \sum Problemler} \quad (4.2)$$

4.6. Fonksiyon Analizi ve FAST Diyagramı

DM metodolojisini diğer iyileştirme metotlarından ayıran en önemli özelliği kurala dayalı fonksiyon analizi içermesidir [10]. Fonksiyon analizi, amaçları yerine getirecek ürünün veya sistemin fonksiyon yapısını oluşturmaya çalışır. Bunun için fonksiyonlar belirlenir, sınıflandırılır, fonksiyon şeması hazırlanır ve fonksiyon maliyetleri ile en fazla iyileştirme potansiyeli olan fonksiyonlar belirlenir. Fonksiyon analizi beş aşamada gerçekleşir [10].

1. *Fonksiyonları tanımlama:* Burada müşterinin hangi fonksiyonları veya özellikleri talep ettiği ve bunlardan daha önemli olanlar belirlenir. Bu süreçte fonksiyonları karşılayacak bileşenler de tespit edilir. Daha sonra fonksiyonlar ölçülebilir bir isim ve fiil ile ifade edilirler.
2. *Fonksiyonları sınıflandırma:* Burada fonksiyonlar birincil ve ikincil fonksiyon olarak sınıflandırılır. Birincil fonksiyon veya ana fonksiyon ürünün veya hizmetin müşteri tarafından neden alındığını gösterir. İkincil fonksiyon ise, ana fonksiyona doğrudan veya dolaylı katkı sağlayan fonksiyonlardır.
3. *Fonksiyon ilişkilerini geliştirme:* Fonksiyon ilişkilerini daha iyi anlayabilmek için FAST diyagramı kullanılır. FAST diyagramı klasik, teknik odaklı ve müşteri odaklı olmak üzere üçe ayrılır [59]. Teknik odaklı FAST diyagramı ile fonksiyon şemaları yanında tasarım amaçları, sürekli fonksiyonlar ve geçici fonksiyonlar da gösterilir. FAST diyagramı, soldan sağa doğru “Bu fonksiyon nasıl yapılır?” sorusuna cevap verecek şekilde; sağdan sola doğru “Bu fonksiyon neden yapılır?” sorusuna cevap verecek şekilde mantıksal bir algoritmayla oluşturulur. Yukarıdan aşağıya doğru ise aynı anda gerçekleşen fonksiyonlar gösterilir.
4. *Fonksiyon maliyetlerini belirleme:* Burada, fonksiyon ile maliyeti arasındaki ilişkiyi belirlemek için Fonksiyon-Maliyet-Değer çizelgesi oluşturulur. Bu aşamada fonksiyonun yerine getirilebilmesi için en düşük maliyet tahmin edilir.
5. *Fonksiyon iyileştirme potansiyellerini belirleme:* Bu aşamada iyileştirme potansiyeli yüksek olan fonksiyonlar belirlenir. Yüksek maliyetli fonksiyonların değer artırma veya maliyet azaltma potansiyeli daha yüksek olduğundan bu fonksiyonlara odaklanılır. İyileştirme potansiyeli olan fonksiyonlar belirlenirken genellikle Pareto kuralı kullanılır ve bu fonksiyonlar üzerinde değer çalışması yapılır.

4.7. Bilimsel Etkiler

Altshuller ve arkadaşları sistematik olarak etkiler veri tabanının oluşturmaya ilk defa 1969 yılında başlamışlardır [87]. Daha sonra çok sayıda mühendis ve bilim adamı araştırmaları ve çalışmaları ile etkiler veri tabanına katkı sağlamıştır [88]. Bu etkilerin kullanılması için 4 adımdan oluşan bir süreç tanımlanmıştır [88]. Buna göre;

- a) Problem “Nasıl?” sorusunu içerecek şekilde tanımlanır. Örneğin, “Suyu nasıl temizlerim veya nasıl saflaştırırım?” şeklinde problem tanımlanmalıdır.

- b) Bu problemin ne şekilde çözülmesi bekleniyorsa bu çözüm faktörü belirlenmelidir. Örneğin, bu faktör sıvıyı temizle, katıyı belirle, sıvıyı tut gibi fonksiyonlar ile saflığı ölç, sürtünmeyi artır, yoğunluğu değiştir gibi değişmesi ihtiyaç duyulan parametreler olabilir.
- c) Daha sonra etkiler veri tabanında istenilen fonksiyon araştırılır ve eşleştirilir.
- d) Bulunan kavramsal çözüm mevcut özel çözüme uyarlanır.

Günümüzde ise bilimsel etkileri içeren çok pahalı yazılımlar bulunmakla birlikte bu etkiler bazı TRIZ kitapları [89] veya bazı internet kaynaklarında genel haliyle bulunabilir [90].



5. DEMİRYOLU ÖLÇÜM VE MUAYENE ARACI TASARIMI

Bu bölümde demiryolu ölçüm ve muayene aracı veya arabasının kavramsal tasarımı Pahl ve Beitz'in yaklaşımı [4] esas alınarak yapılmıştır. Dördüncü bölümde tanıtılan teknolojik dönüşüm kanunları, kalite evi, çelişki matrisi ve yaratıcı prensipler, kaynak analizi, fonksiyon analizi ve FAST diyagramı ile bilimsel etkiler yaratıcı yöntemler olarak KT adımlarında uygulanmıştır.

5.1. Demiryolu Ölçüm ve Muayene Aracı Tasarım Şartnamesi

Tasarım şartnamesi hazırlamak için önce ticari ölçüm araçlara ait performans parametreleri incelenmiştir. Piyasa araştırması ile elde edilen veriler ölçüm aracı gelişim eğilim tahmininde kullanılmıştır. Daha sonra ise Pahl ve Beitz 'in yaklaşımına [4] uygun olarak tasarım şartnamesi oluşturulmuştur.

5.1.1. Piyasa araştırması

Demiryolu muayene ve ölçüm arabası piyasasında farklı özelliklere sahip birçok ölçüm aracı bulunmaktadır. Piyasada temel geometrik ölçümleri yapılabilen arabalar olduğu gibi ray profili, ray içi / yüzeyi kusurları, hat profili ve boşluk analizi (tünel, istasyon, köprü vb.) yapabilen çok fonksiyonlu, temaslı ve temassız ölçüm sistemleri kullanan gelişmiş arabalar bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında da Geismar [20], Goldschmidt Akıllı Demiryolu Çözümleri [26], KZV [27], Amberg Teknoloji [28], Selectravisyon [29] ve Donfabs & Consillia [30] firmalarının ürün katalogları incelenmiş, çeşitli fonksiyonel özellikler ve performans ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır (Çizelge 5.1).

5.1.2. Teknolojik dönüşüm kanunlarının uygulanması

Teknolojik dönüşüm kanunlarına dayalı olarak kapsamlı patent araştırması yapılarak 4 aşamalı bir kavram geliştirme süreci ile [45] teknik sistemin ürün yaşam döngüsünde nerede olduğu ve akabinde takip edilecek benzer kanunlar ile ürün tasarımı yapılabilir.

Çizelge 5.1. Mevcut demiryolu yol geometrisi ölçüm arabası özellikleri

ARABA ÖZELLİKLERİ	ÖLÇÜM ARABALARI									
	KRAB 84.09SA	KRAB Turtle	Trackscan Inertial TSI	Amberg GRP 1000	Amberg IMS 1000	Trackscan CADD-E	PTST-P	Track T2	GeismarEmerald	Geismar Diamond S2
Geometrik Ölçüm Sistemi	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ray Profili Ölçüm Sistemi	X	✓	X	X	X	✓	✓	✓	X	X
Ray Kusuru Ölçüm Sistemi	X	X	X	X	X	✓	X	X	X	X
Boşluk Ölçüm Sistemi	X	✓	X	X	X	X	✓	X	X	X
Makas Ölçümü	✓	✓	X	BY	BY	X	✓	X	X	✓
Ağırlık (kg)	120	100	26	27	45	BY	BY	BY	63	25
Ölçüm Hızı (km/h)	30	25	5,4	3	2,5	16	BY	BY	20	BY
Ölçüm Süresi/Mesafesi	20 saat	8 saat	430 km	8 saat	BY	60 km	BY	BY	8 saat	9 saat
Araç Bağlantısı	✓	✓	X	X	X	X	X	X	✓	X
Deray Önleme ve Koruma Sistemi	✓	X	X	X	X	X	✓	X	✓	✓
Veri Kontrol ve Görüntüleme Sistemi	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓
BY: Bilgi yok										

Ancak bu çalışmada her teknolojik dönüşüm aşamasında uygulanabilen mükemmellik derecesini artırma, üst sisteme geçme, alt sistemlerin düzensiz dönüşümü ve artan dinamizm/esneklik kanunları uygulanmıştır. Buna göre demiryolu muayene aracı;

- Mükemmellik derecesini artırma kanununa göre, çok işlevli ve verimli, basit ve ekonomik olmalı, daha az kaynak tüketmeli ve mevcut problemleri çözerek daha ideal hale gelmelidir.
- Artan dinamizm/esneklik kanununa göre, değişen performans, çevre şartlarına uyum sağlayabilmek ve daha fonksiyonel olabilmek için daha esnek yapıya sahip olmalıdır.
- Alt sistemlerin düzensiz dönüşümü kanununa göre, düzensiz gelişen alt sistemlerin oluşturduğu teknik ve fiziksel çelişkileri ortadan kaldırmalıdır.
- Üst sisteme geçme kanununa göre, fonksiyonelliğe bağlı olarak artan sistem karmaşıklığının azaltılması için her bir sistem bir fonksiyonu yerine getirirken iki veya daha fazla fonksiyonu karşılamalıdır.

Bu kanunlara göre demiryolu muayene ve ölçüm aracı tasarımına ait önemli ölçütler Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Teknolojik dönüşüm kanununa göre önemli tasarım ölçütleri

<i>Teknolojik dönüşüm kanunu</i>	<i>Önemli tasarım ölçütleri</i>
<i>Mükemmellik derecesini artırma</i>	Basit tasarım, düşük maliyet, verimlilik, fonksiyonellik, az kaynak tüketimi
<i>Artan dinamizm / esneklik</i>	Uyumluluk (performans ve çevre şartlarına), fonksiyonellik, esneklik
<i>Alt sistemlerin düzensiz dönüşümü</i>	Daha az çelişki
<i>Üst sisteme geçme</i>	Basit tasarım, fonksiyonellik

Piyasa araştırması ile teknolojik dönüşüm kanunları ilkeleri birlikte değerlendirilerek ölçüm aracına ait gereksinimler belirlenmiş ve tasarım şartnamesi oluşturulmuştur (Çizelge 5.3).

5.2. Önemli Problemlerin Belirlenmesi

Bu adımda, tasarım şartnamesinde yer alan isteklerin ve arzuların önem seviyesi “Mudge matrisi” kullanılarak tayin edilmiştir. Daha sonra Kalite evi ile önemli tasarım parametreleri ve aralarındaki ilişkiler belirlenmiştir. Arkasından çelişki matrisi ve yaratıcı prensipler kullanılarak çözüm ilkeleri oluşturulmuştur. Ayrıca, kaynak analizi ile problemlerin mevcut kaynaklar kullanılarak çözülmesi hedeflenmiş ve bu kapsamda tasarım ilkeleri de belirlenmiştir.

5.2.1. Mudge matrisi oluşturulması

Burada tasarım şartnamesinde yer alan müşteri istekleri matrisin satırlarına ve sütunlarına yazılmış, daha sonra bunlar önem seviyesi eşit (0), küçük fark (1), orta fark (2) ve büyük fark (3) olmak üzere dört seviyede ikili olarak karşılaştırılmıştır. Arkasından bunların toplam ağırlıkları ve bağlı ağırlıkları (önem seviyesi) hesaplanmıştır. Buna göre en önemli müşteri istekleri; doğru sonuç, emniyet, yol geometrisi ölçümü, makas ölçümü, ray profili ölçümü, gabari ölçümü, yüksek hız ve düşük maliyet olmuştur (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.3. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için tasarım şartnamesi

No	İ/A	Müşteri istekleri / İhtiyaç listesi
1		<i>Foksiyonel istekler</i>
	İ	Manuel veya bir demiryolu aracına bağlı olarak kullanılabilirmeli
	İ	Normal demiryolu hattında ve makaslarda kullanılabilirmeli
	İ	Yol geometrisi ölçümü yapabilmeli
	İ	Ray profili ölçümü yapabilmeli
	İ	Tünel, köprü, platform vb. yapılarda gabari ölçümü yapabilmeli
	İ	Yoldan çıkmaya karşı emniyet tertibatı olmalı
	İ	Farklı ekartman tiplerine uyumlu olmalı (1000-1600)
	İ	Farklı ray tiplerine uyumlu olmalı (normal ray, oluklu ray)
2		<i>Montaj / Bakım / Onarım istekleri</i>
	İ	Kolay taşınabilir olmalı (Ağırlık<110 kg)
	İ	Montaj ve demontajı kolaylıkla yapılabilirmeli
	A	Az bakım gerektirmeli, bakımı ve onarımı kolay olmalı
	A	Tasarımı vücut ergonomisine uygun olmalı
	İ	Dışarıdan kaynaklı titreşim ve darbelerden etkilenmemeli
3		<i>Diğer istekler</i>
	İ	Maliyeti düşük olmalı
	A	Bilgisayar ekranı ara yüzü basit, kullanımı kolay ve sayısal/grafik verileri karşılayabilmeli
	İ	Manuel veya demiryolu aracına bağlı kullanımda 30 km/h hız ile ölçüm sağlamalı
	İ	Ölçüm ve depolama sırasındaki gerekli çevre, iklim ve diğer işletme koşullarını

Çizelge 5.4. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için Mudge matrisi

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Müşteri İstekleri		Toplam Ağırlık	Önem Seviyesi (0-1)
A	A1	A2	A2	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	L2	0	A1	A1	A3	Yol Geometrisi Ölçümü	A	31	0,8
	B	B1	B1	B3	B3	B1	B2	B3	B3	B3	L3	M3	B1	B1	B2	Makas Ölçümü	B	24	0,6
		C	D1	C3	C3	C1	C3	C3	C3	C3	L3	M3	N1	O1	C3	Ray Profili Ölçümü	C	22	0,6
			D	D2	D2	0	D3	D3	D3	D3	L3	M3	0	O1	D2	Manuel-Araca Bağlı Kullanım	D	18	0,5
				E	E2	G3	E2	E2	E2	E2	L3	M3	N3	O3	P3	Farklı Ekartmanlara Uyumluluk	E	10	0,3
					F	G3	F2	F1	F1	F1	L3	M3	N3	O3	P3	Farklı Ray Tiplerine Uyumluluk	F	5	0,1
						G	G2	G2	G2	G2	L3	M3	N3	O2	P3	Taşınabilirlik	G	14	0,4
							H	H2	0	H3	L3	M3	N3	O3	P3	Montaj Kolaylığı	H	5	0,1
								I	J1	K1	L3	M3	N3	O3	P3	Bakım Kolaylığı	I	0	0,0
									J	J1	L3	M3	N3	O3	P3	Kullanım Kolaylığı	J	2	0,1
										K	L3	M3	N3	O3	P2	Ergonomi	K	1	0,0
											L	0	L2	O1	L3	Emniyet	L	37	0,9
												M	M3	M3	M3	Doğru sonuç	M	39	1,0
													N	O1	N3	Yüksek Hız	N	25	0,6
														O	P3	Düşük Maliyet	O	24	0,6
															P	Gabari ölçümü	P	23	0,6

Önem Seviyesi

1-Küçük fark

2- Orta Fark

3-Büyük Fark

0-Eşit

5.2.2. Kalite evi oluşturulması

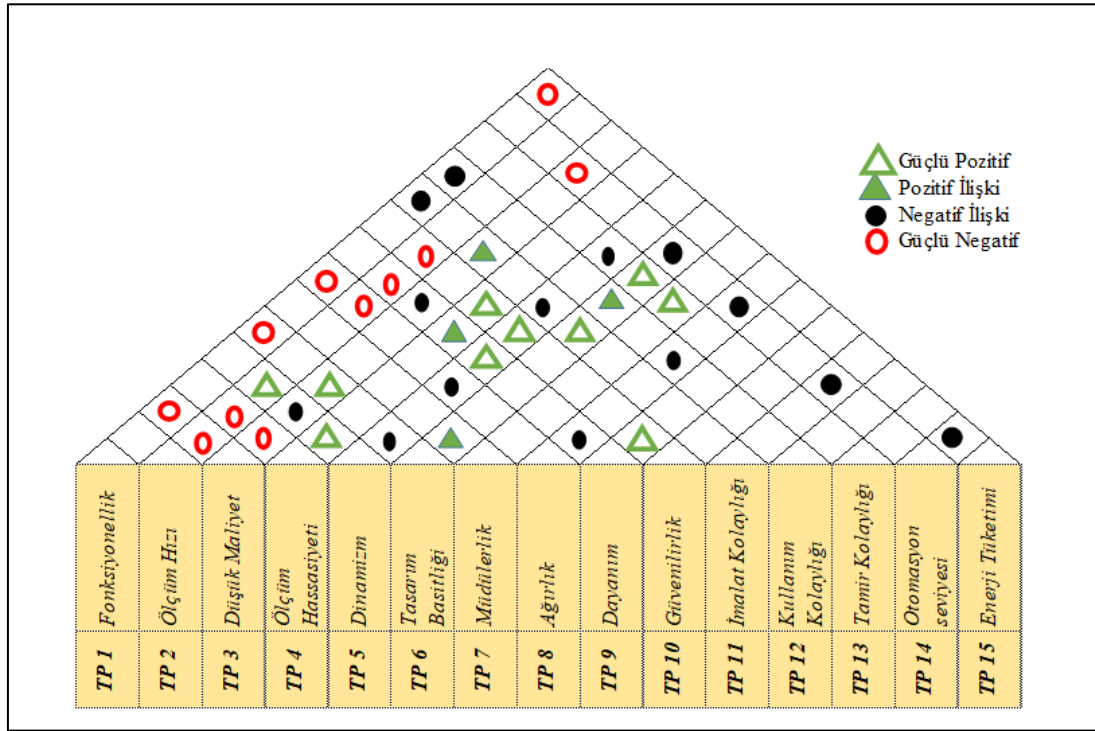
Kalite evi ile müşteri istekleri tasarım parametrelerine dönüştürülmüştür. Öncelikle, Mudge matrisi kullanılarak hesaplanan her bir isteğin önem seviyesi müşteri taleplerinin yanındaki sütuna yazılmıştır. Daha sonra tasarım şartnamesinde yer alan istekler bir veya birden fazla teknik parametreler ile ifade edilerek tablonun üst satırına yazılmıştır. Bu tasarım parametreleri genellikle çelişki matrisinde yer alan mühendislik parametreleri arasından seçilmiştir. Son olarak tasarım parametrelerinin müşteri istekleri ile ilişkisi az (1), orta (3) ve çok (9) olmak üzere 3 seviyede düzenlenmiş ve tasarım parametrelerinin mutlak ve bağlı ağırlıkları hesaplanmıştır. Buna göre, müşteri isteklerini karşılayacak 15 tasarım parametresi belirlenmiştir. Bunlardan önemli olanları; dinamizm, güvenilirlik, ölçüm hızı, fonksiyonellik ve ölçüm hassasiyetidir (Çizelge 5.5).

Çizelge 5.5. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için kalite evi

Fij Çok =9, Orta=3, Az=1		Önem Seviyesi (0-1)	TASARIM PARAMETRELERİ														
			Fonksiyonellik	Ölçüm Hızı	Düşük Maliyet	Ölçüm Hassasiyeti	Dinamizm	Tasarım Basıtlığı	Müdülülük	Ağırlık	Dayanım	Güvenilirlik	İmalat Kolaylığı	Kullanım Kolaylığı	Tamir Kolaylığı	Otomasyon seviyesi	Enerji tüketimi
			TP 1	TP 2	TP 3	TP 4	TP 5	TP 6	TP 7	TP 8	TP 9	TP 10	TP 11	TP 12	TP 13	TP 14	TP 15
MÜŞTERİ TALEPLERİ	A	Yol Geometrisi Ölçümü	0,8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	3	3	3	9
	B	Makas Ölçümü	0,6	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	3	3	3	9
	C	Ray Profili Ölçümü	0,6	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	3	3	3	9
	D	Manuel-Araca Bağlı Kullanım	0,5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	3	3	3	9
	E	Farklı Ekartmanlara Uyumluluk	0,3	9	9	9	9	3	9	9	9	9	1	9	1	3	9
	F	Farklı Ray Tiplerine Uyumluluk	0,1	9	9	9	9	3	9	9	9	9	1	9	1	3	9
	G	Taşınabilirlik	0,4	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3
	H	Montaj Kolaylığı	0,1	9	1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	9
	I	Bakım Kolaylığı	0,0	9	1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	J	Kullanım Kolaylığı	0,1	9	1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	K	Ergonomi	0,0	1	1	9	1	9	9	9	9	9	9	9	3	9	9
	L	Emniyet	0,9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	M	Doğru sonuç	1,0	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	N	Yüksek Hız	0,6	9	3	9	9	9	9	9	9	9	3	1	1	9	9
	O	Düşük Maliyet	0,6	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	P	Gabari ölçümü	0,6	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	3	3	3	9
Mutlak Ağırlık			55,87	55,67	36,69	43,38	63,95	30,69	30,00	35,08	18,46	56,08	9,62	11,87	8,79	29,38	24,62
Bağıl Önem Seviyesi (%)			10,95	10,91	7,19	8,50	12,54	6,02	5,88	6,88	3,62	10,99	1,88	2,33	1,72	5,76	4,83

5.2.3. Teknik çelişkiler ile çözüm ilkelerinin belirlenmesi

Çelişkilerin belirlenmesi için Kalite evinin çatı matrisi kullanılmıştır (Şekil 5.1). Tasarım parametreleri arasındaki ilişki pozitif, güçlü pozitif ve negatif, güçlü negatif olmak üzere dört düzeyde belirlenmiştir. İlişkinin negatif ve güçlü negatif olduğu durumlar parametreler arası çelişkinin olduğu durumlardır.



Şekil 5.1. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için korelasyon matrisi

Buna göre, demiryolu ölçüm ve muayene aracı için 19 adet çelişki belirlenmiştir. Daha sonra bu çelişkiler çelişki matrisinde yer alan uygun TRIZ parametrelerine dönüştürülmüş, 40 yaratıcı prensip arasından en uygun olan çözüm ilkesi belirlenmiş ve bunlar EK-3'de gösterilmiştir. Daha sonra seçilen uygun çözüm ilkesi benzer uygulama ilkeleri göz önüne alınarak tanımlanmıştır (Çizelge 5.6).

5.2.4. Kaynak analizinin yapılması

Burada, öncelikle çelişkinin olduğu bölgenin içinde veya çevresinde yer alan muhtemel kaynaklar tanımlanmıştır. Bunun için problem alanı ve zamanı belirlenmiş ve muhtemel kullanılabilir kaynaklar oluşturulmuştur (Çizelge 5.7). Buna göre; ölçüm araç uzunluğu ve

genişliği (ile gerekmesi halinde yüksekliği) kullanım kolaylığı ve tamir kolaylığı ile ilgili problemleri ortadan kaldırmada kullanılabilir. Malzeme geometrisi ve malzeme özellikleri; fonksiyonellik, hız ve esneklik gereksinimleri nedeniyle ortaya çıkan ağırlık artışı, imalat zorluğu, dayanım ve güvenilirlik problemlerini ortadan kaldırmada kullanılabilir. Ayrıca, sistemin daha fazla işlev karşılaması nedeniyle artan enerji tüketimi makine tarafından sağlanan mekanik enerjinin geri kazanılması için kullanılabilir.

Çizelge 5.6. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı teknik çelişkileri için çözüm ilkeleri tanımları

Problem No	Çözüm Prensipleri
P1-P3-P4-P6-P7-P10-P17-P19	Yüksek hızda ölçüm hassasiyeti sağlamak, cihazın karmaşıklığını azaltmak, imalat ve kullanım kolaylığı için mekanik sistemler yerine alternatif sistemler kullanılabilir.
P2	Ölçüm aracının ağırlığını azaltabilmek için kopyalama ilkesine göre ölçümü doğrudan yapmak yerine görsel örneği kullanılabilir.
P5	Bu çözüm ilkesi gereğince faydalı eylemin sürekli olarak gerçekleştirilmesi sağlanabilir.
P8-P15	Dayanımı artırmak ve artan ağırlığı azaltmak için bölgesel olarak daha dayanımlı malzeme kullanılabilir.
P9	Hıza bağlı olarak artan dış etkilere karşı fonksiyonları daha doğru karşılamak için sistemin esneklik derecesi artırılabilir ve sistem daha dinamik hale getirilebilir.
P11	Genellik ilkesi gereğince bir sistem elemanı birden fazla fonksiyonu karşılayarak diğer sistem elemanına olan ihtiyaç ortadan kaldırılabilir.
P12-P13-P18	Sistemleri birbirinden ayrılarak imalatın ve tamiratın daha kolay hale gelmesi sağlanabilir.
P14	Ağırlığı artırmadan dayanımı iyileştirmek için kompozit malzeme kullanılabilir.
P16	Ölçüm aracına ait bazı verilerin ölçüm öncesinde girilmesi sağlanabilir.

Çizelge 5.7. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için kullanılabilir kaynaklar

Problem no	Problem alanı	Problem zamanı	Muhtemel kaynaklar
P1, P4, P10, P13, P15, P16	Tüm sistem bileşenleri	Kullanım ve tamirat süreci	Uzunluk, alan ve hacim
P2, P3, P7, P8, P9, P11, P12, P14, P18	Başta taşıyıcı sistem olmak üzere tüm sistem bileşenleri	Taşıma, kullanım ve imalat süreci	Malzeme geometrisi ve malzeme özellikleri
P5, P9	Enerji tüketen bileşenler	Kullanım süreci	Doğrusal hareket (araca bağlı kullanımda)

Mevcut kaynaklar tanımlandıktan sonra her bir kaynağın kullanılması halinde ideal nihai sonuç formüle edilmiş ve fiziksel çelişkiler tanımlanmıştır. Daha sonra bunlar ayırma prensipleri kullanılarak çözüm ilkesi oluşturulmuştur. Buna göre;

- Fiziksel çelişki-1: Ölçüm aracının uzunluğu, genişliği veya yüksekliği kaynak olarak belirlendiğinde ideal nihai sonuç ölçüm aracında sistem karmaşıklığı olmaması için mümkün olduğunca uzun/geniş/yüksek, taşınabilir olması için de mümkün olduğunca kompakt olmalıdır. Buna göre zamanda ayırma ilkesi uygulanabilir. Bunun için uygulanabilir çözüm ilkeleri ise bölme/bölümleme (1), iç içe geçme (7) ve dinamiklik (15) ilkeleridir.
- Fiziksel çelişki-2: İnsan veya makine kaynak olarak belirlendiğinde ideal nihai sonuç mekanik enerji ile tüm sistem enerjisini karşılama olarak tanımlanabilir. Ancak, ölçüm aracı taşınabilir olması için de düşük ağırlıklı olması gerekir. Buna göre zamanda ayırma ilkesi uygulanabilir. Bunun için uygulanabilir çözüm ilkesi ise bölme/bölümleme (1) ilkesidir.

5.3. Fonksiyon Analizi

Fonksiyon yapılarının oluşturulması ve geliştirilmesi için fonksiyon analizi kullanılmıştır. Bu adımda demiryolu muayene ve ölçüm aracının önemli fonksiyonları ile bu fonksiyonların maliyetleri ve değer analizi yapılacak çalışma alanı belirlenmiştir.

5.3.1. Fonksiyon tanımlama

Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için tasarım şartnamesinde yer alan istekler ve belirlenen çözüm ilkeleri doğrultusunda öncelikle sistemin önemli bileşenleri belirlenmiş ve bunlara ait fonksiyonlar mümkün olduğunca ölçülebilir bir isim ve fiil ile ifade edilmiştir. Bunun için ölçüm aracının önemli bileşenleri sistem veya bileşen bazında listelenmiştir. Buna göre ölçüm aracı için 9 alt sistem belirlenmiş ve bunların önemli bileşenlerine ait fonksiyonlar Çizelge 5.8’de tanımlanmıştır.

5.3.2. Fonksiyon sınıflandırma

Fonksiyon analizinin ikinci aşamasında fonksiyonlar tiplerine göre birincil ve ikincil fonksiyon olmak üzere tasnif edilmiştir. Buna göre ölçüm aracı için belirlenen fonksiyonların tiplerine göre sınıflandırılması Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için fonksiyonlar

Sıra No	Sistem	Bileşen	Fonksiyon		Fonksiyon tipi	
			İsim	Fiil	Birincil fonksiyon	İkincil fonksiyon
1	Yol geometrisi ölçüm sistemi	Mesafe sensörü	Uzunluk	Ölçer	X	
		Eğim sensörü	Açı	Ölçer	X	
		İletim kablosu	Sinyal	İletir		X
2	Ray profili ölçüm sistemi	Profil sensörleri	Uzunluk	Ölçer	X	
		İletim kablosu	Sinyal	İletir		X
3	Gabari ölçüm sistemi	Mesafe sensörü	Uzunluk	Ölçer	X	
		İletim Kabloları	Sinyal	İletir		X
4	Konum belirleme sistemi	GPS	Konum	Belirler	X	
		İMU	Konum	Belirler	X	
		Odometre	Konum	Belirler	X	
		İletim kabloları	Sinyal	İletir		X
5		Veri işleme birimi	Sinyal	Dönüştür	X	
		Bilgisayar	Veri	Sağlar	X	
			Kontrol	Sağlar	X	
6	Besleme sistemi	Pil	Enerji	Sağlar		X
7	Otomatik kontrol sistemi	Yaklaşım sensörü	Uzunluk	Ölçer		X
		Aktüatör	Hareket	Sağlar		X
8	Taşıyıcı sistem	Gövde	Bileşenleri	Destekler	X	
		Bağlantı elemanları	Bileşenleri	Sabitler		X
		Tekerlek	Hareket	Sağlar		X
		Yay/Sönümlleme elemanı	Esneklik	Sağlar		X
9	Araç bağlantısı sistemi	Gövde	Bileşenleri	Destekler	X	
		Bağlantı elemanları	Bileşenleri	Sabitler		X

5.3.3. Fonksiyon ilişkilerini geliştirme

Fonksiyon ilişkilerini daha açık ve anlaşılır bir şekilde geliştirebilmek için bir FAST diyagramı oluşturulmuş ve Ek-3’de gösterilmiştir. Bu diyagram, soldan sağa doğru “Bu fonksiyon nasıl yapılır?” sorusuna cevap verecek; sağdan sola doğru “Bu fonksiyon neden yapılır?” sorusuna cevap verecek ve yukarıdan aşağıya doğru ise aynı anda gerçekleşen fonksiyonları gösterecek şekilde oluşturulmuştur. Ayrıca, tasarım amaçları, geçici ve sürekli fonksiyonlar diyagramın üst tarafına yazılmıştır.

5.3.4. Fonksiyon maliyetlerini belirleme

Fonksiyon maliyetlerini belirlemek için bir Fonksiyon-Maliyet-Değer çizelgesi hazırlanır. Ancak, burada sadece fonksiyon ve maliyeti göz önüne alınmış, fonksiyon değeri ise çözüm sonraki aşamalarda değerlendirilmiştir. Ölçüm aracı için fonksiyon maliyetleri Çizelge 5.8’de verilen sistem bileşenlerinin maliyetleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Alt sistem veya sistem bileşen maliyetleri hesaplanmasında sadece malzeme maliyeti dikkate alınmış, işçilik ve montaj giderleri hesaba dâhil edilmemiştir (Çizelge 5.9).

Çizelge 5.9. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için fonksiyon maliyetleri

Ölçüm Aracı Bileşenleri	Toplam Maliyet (\$)	Uzunluk Ölçer	Açı Ölçer	Sinyal İletir	Konum Belirler	Sinyal Dönüştürür	Veri Sağlar	Kontrol Sağlar	Enerji Sağlar	Hareket Sağlar	Bileşenleri Destekler	Bileşenleri Sabitler	Esneklik Sağlar
		Fonksiyon Maliyeti (\$)											
Yol Geometrisi Ölçüm Sistemi	1 500	750	675	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ray Profili Ölçüm Sistemi	5.000	4.750	0	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gabari Ölçüm Sistemi	1.000	950	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Konum Belirleme Sistemi	10.000	0	0	200	9.800	0	0	0	0	0	0	0	0
Veri İşleme, Kontrol, İzleme Sistemi	5.000	0	0	0	0	2.000	2.000	1.000	0	0	0	0	0
Besleme Sistemi	1.000	0	0	0	0	0	0	0	1.000	0	0	0	0
Otomatik Kontrol Sistemi	500	325	0	0	0	0	0	0	0	175	0	0	0
Taşıyıcı Sistem	700	0	0	0	0	0	0	0	0	140	280	70	210
Araç Bağlantısı Sistemi	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	20	0
Toplam Fonksiyon Maliyeti (\$)	24.800	6.775	675	575	9.800	2.000	2.000	1.000	1.000	315	360	90	210

5.3.5. Fonksiyon iyileştirme potansiyellerini belirleme

Değer analizi için en uygun alan maliyetlerin yüksek olduğu fonksiyonlardır. Bunun için Pareto analizi kullanılmış ve tüm maliyetlerin yaklaşık % 84’ünü oluşturan uzunluk ölçer, konum belirler, veri sağlar ve kontrol sağlar fonksiyonları değer analizi çalışma kapsamını oluşturan fonksiyonlar olarak belirlenmiştir.

5.4. Demiryolu Ölçüm ve Muayene Aracı Alt ve Genel Tasarımları

Bu aşamada geniş çözüm uzayı elde etmek için Morfolojik kart oluşturulmuş ve her alt fonksiyona çok sayıda çözüm ilkesi belirlenmiştir (Şekil 5.2). Çözüm ilkeleri oluştururken TRIZ'in bilimsel etkiler veri tabanından da yararlanılmıştır. Bu çözüm ilkeleri tüm fonksiyonu karşılayacak şekilde sistematik birleştirme yöntemiyle tekrar birleştirilmiştir. 12 sistem bileşeni için teorik olarak çok sayıda çözüm seçeneği oluşturulabilir; ancak burada uygulanabilir 6 çözüm seçeneği belirlenmiştir (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.10. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için uygulanabilir çözüm seçenekleri

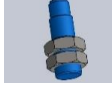
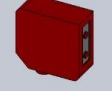
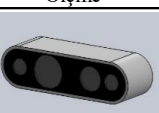
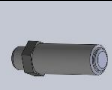
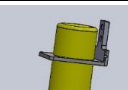
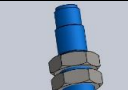
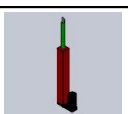
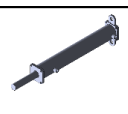
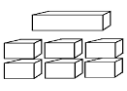
<i>Seçenek-1</i>	1.3	2.1	3.1	4.2	5.1	6.1	7.2	8.1	9.1	10.1	11.1	12.3
<i>Seçenek-2</i>	1.3	2.2	3.3	4.3	5.1	6.2	7.4	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2
<i>Seçenek-3</i>	1.2	2.1	3.1	4.4	5.1	6.4	7.2	8.2	9.3	10.3	11.3	12.3
<i>Seçenek-4</i>	1.3	2.3	3.3	4.3	5.1	6.4	7.3	8.1	9.2	10.4	11.4	12.1
<i>Seçenek-5</i>	1.1	2.2	3.2	4.1	5.1	6.3	7.2	8.1	9.4	10.2	11.3	12.2
<i>Seçenek-6</i>	1.2	2.1	3.3	4.2	5.1	6.1	7.3	8.2	9.3	10.1	11.3	12.3

Burada çelişki matrisi ile yaratıcı prensiplerden ve kaynak analizinden elde edilen ilkelere uygun olarak, mekanik sistemler yerine optik veya akustik ölçüm sistemleri tercih edilmiş, mekanik enerjinin elektrik enerjisine çevrilmesi için alternatör kullanılmıştır. Ayrıca, malzeme ağırlığının azaltılması, dayanımın artırılması ve rijitliğin azaltılması için bilimsel etkiler veri tabanı kullanılarak çözüm ilkeleri oluşturulmuştur (Çizelge 5.11). Bu ilkeler tasarımın yapısına göre uygun olan şekillerde kullanılmıştır.

Çizelge 5.11. Bilimsel etkiler veri tabanı kullanılarak bulunan çözüm ilkeleri

<i>Fonksiyonlar</i>	<i>Çözüm ilkeleri</i>				
<i>Ağırlığı azalt</i>	Porozite	Nano gözenekli malzeme	Kompozit malzeme	Metal köpük	Kavisli yapı
<i>Esneklik artır/ Rijitliği azalt</i>	Yay	Kompozit malzeme	Delikli yapı	Mafsallı yapı	Bölümleme
<i>Dayanımı artır</i>	Kavisli yapı	Kompozit malzeme	Nanokompozit malzeme	Metal köpük	

Morfolojik Kart

Sıra no	Alt Fonksiyonlar	Bileşenler	1	2	3	4
1	Uzunluk ölçer	Mesafe Ölçme Sensörü				
			Ultrasonik Sensör	Radar Sensör	Lazer Sensör	
2	Uzunluk ölçer	Profil Ölçme Sensörü				
			Lazer Üçgenleme Profil Ölçme	Lazer-CMOS Profil Ölçme	Lazer-TOF Profil Ölçme	
3	Uzunluk ölçer	Gabari Ölçme Sensörü				
			LİDAR Tarayıcı	Time-of-Flight (TOF) Kamera	Stereo Görüş Kamera	
4	Uzunluk ölçer	Yakınlık sensörü				
			Endüktif sensör	Kapasitif sensör	Optik sensör	Ultrasonik Sensör
5	Konum belirler	Konum belirleme sistemi	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou
6	Konum belirler	Ataletsel Ölçüm Sistemi (IMU)	MEMS Tabanlı IMU	Fiber Optik IMU	Piezoelektrik IMU	Jiroskopik IMU
7	Konum belirler	Odometre	GPS Tabanlı Odometre	Optik Odometre	Manyetik Odometre	Mekanik Odometre
8	Veri sağlar / Kontrol Sağlar	Bilgisayar				
			Dizüstü Bilgisayar	El Bilgisayarı		
9	Enerji sağlar	Batarya	Li-ion	Ni-MH	Li-PO	LiFePO4
10	Hareket Sağlar	Kaldırma Mekanizması				
			Lineer vida	Lineer Motor	Pnömatik Silindir	Hidrolik Silindir
11	Uzunluk azalt	Ekartman Ayarlama Birimi				
			Bölümleme	Katlama	İç içe geçme	Lineer vida
12	Enerji dönüştür	Alternatör	Klasik tip alternatör	Kompakt alternatör	Fırçasız alternatör	

Şekil 5.2. Demiryolu muayene ve ölçüm aracı için morfolojik kart

5.5. Demiryolu Ölçüm ve Muayene Aracı Tasarımı Ön Değerlendirmesi

Bu adımda önceki adımda belirlenen 6 uygun çözüm seçeneği sayısının azaltılması ve daha zayıf / yetersiz çözümlerin elenmesi hedeflenmiştir. Bunun için tüm işlevlere uyumlu olma, tasarım şartnamesini karşılama, ilke olarak gerçekleştirilebilme, izin verilebilir maliyet, emniyet şartlarını karşılama, tasarım şirketince tercih edilebilme ve yeterli bilgi ölçütleriyle değerlendirilmiştir (Şekil 5.3). Seçenek-1, Seçenek-5 ve Seçenek-6 daha uygun tasarım varyantları olarak seçilmiştir.

SEÇİM KARTI									
Çözüm Seçenekleri	Tüm işlevlere uyumlu	Tasarım şartnamesini karşılama	Prensipde gerçekleştirilebilir.	İzin verilebilir maliyet	Emniyet şartlarını karşılama	Tasarım şirketince tercih edilebilir.	Yeterli Bilgi	SEÇİM KRİTERLERİ	
								+ Evet - Hayır ? Bilgi Eksikliği ! Tasarım şartnamesini kontrol et <u>KARAR</u> + Çözümü sürdür - Çözümü çıkar ? Bilgi topla ! Değişiklikler için şartnameyi kontrol et	
	A	B	C	D	E	F	G	GÖRÜŞLER	Karar
ÇS 1	+	+	+	+	+	+	?	Çözüm uygun olabilir. Hassas ölçüm ve konum belirleme yapabilir.	+
ÇS 2	+	?	+	+	+	?	?	Tasarım şartnamesini karşılanması için hassas ray profili ölçümü hakkında bilgi gerekir.	-
ÇS 3	+	+	+	?	+	?	?	Hassas ölçüm mümkün ama maliyet yüksek olabilir. Tercih edilebilirliği için ek bilgi gerekir.	-
ÇS 4	+	?	+	?	+	+	?	Maliyeti yüksek olabilir. Tasarım şartnamesini tam olarak karşılaması net değil.	-
ÇS 5	+	+	+	+	+	+	?	Çözüm uygun olabilir. Daha fazla bilgi toplanmalı.	+
ÇS 6	+	+	+	+	+	+	?	Çözüm uygun olabilir. Daha fazla bilgi toplanmalı.	+

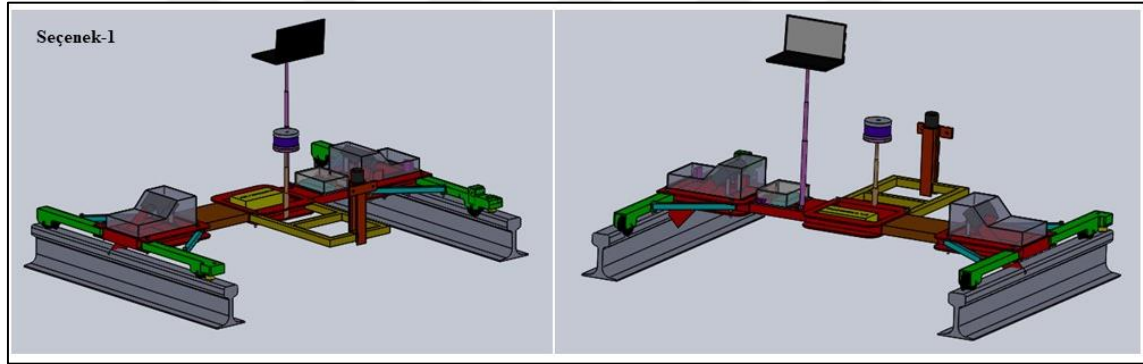
Şekil 5.3. Demiryolu muayene ve ölçüm aracı için seçim kartı

5.6. Demiryolu Ölçüm ve Muayene Aracının Önemli Tasarımları

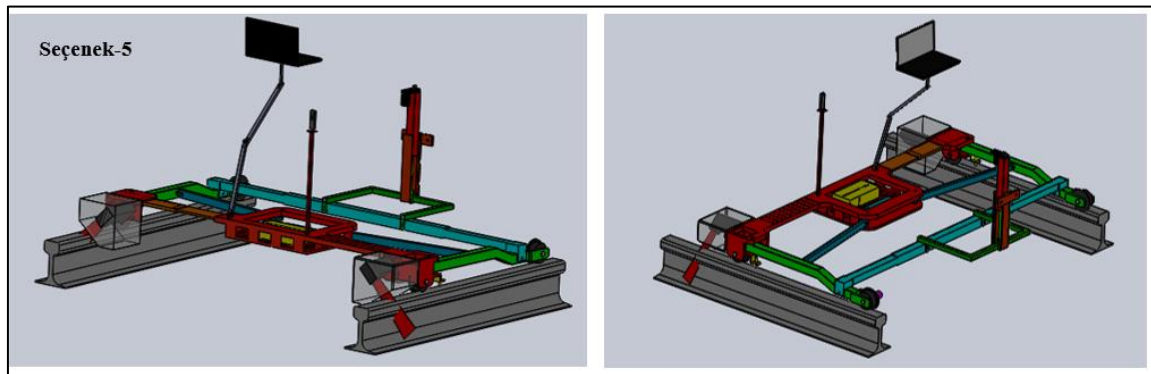
Çözüm seçeneklerinin değerlendirilmeden önce yeterli koşulları sağlaması gereklidir. Bu adımda uygun çözüm ilkelerine yönelik olarak Solidworks ortamında üç boyutlu çizimler ile internet ortamında araştırmalar yapılmış tasarım seçenekleri uzunluk, genişlik yükseklik, ağırlık, ekartman ölçüm hassasiyeti, profil ölçüm hassasiyeti, gabari ölçüm hassasiyeti ve konum belirleme hassasiyeti açısından karşılaştırılmıştır (Çizelge 5.12).

Çizelge 5.12. Önemli demiryolu ölçüm ve muayene aracı tasarımlarının karşılaştırılması

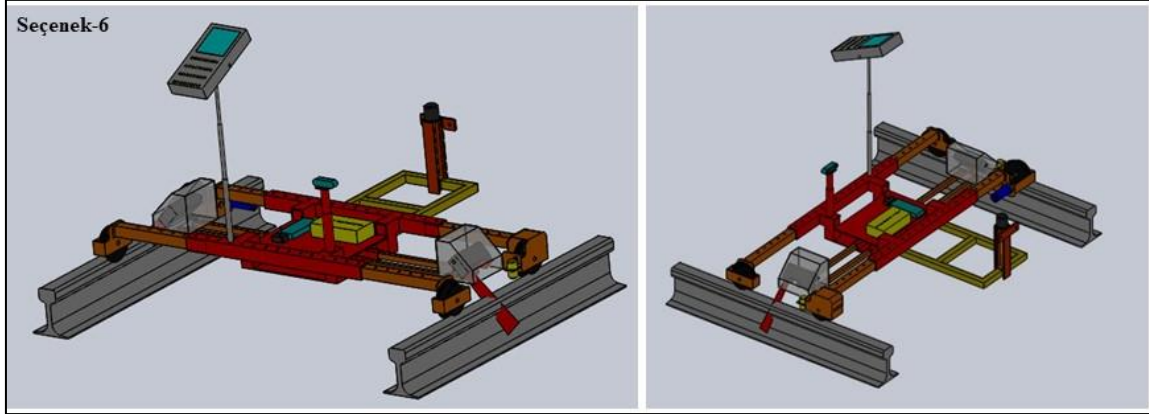
Ölçütler	Seçenek-1	Seçenek-5	Seçenek-6
Boyutlar (mm) (Kullanım) Genişlik x Yükseklik x Uzunluk	1.507x199x603	1.520x144x960	1.520x226x332
Boyutlar (mm) (Taşıma/Depo) Genişlik x Yükseklik x Uzunluk	1.007x199x603	1.170x199x505	1.520x226x332
Ağırlık (Yaklaşık) (kg)	63	103	86
Ekartman ölçüm hassasiyeti	Çok yüksek	Yüksek	Yüksek
Profil ölçüm hassasiyeti	Yüksek	Orta-Yüksek	Yüksek
Gabari ölçüm hassasiyeti	Yüksek	Orta-Yüksek	Orta
Konum belirleme hassasiyeti	Orta	Orta-Yüksek	Orta



Resim 5.1. Kavramsal tasarım varyantı (Seçenek-1)



Resim 5.2. Kavramsal tasarım varyantı (Seçenek-5)

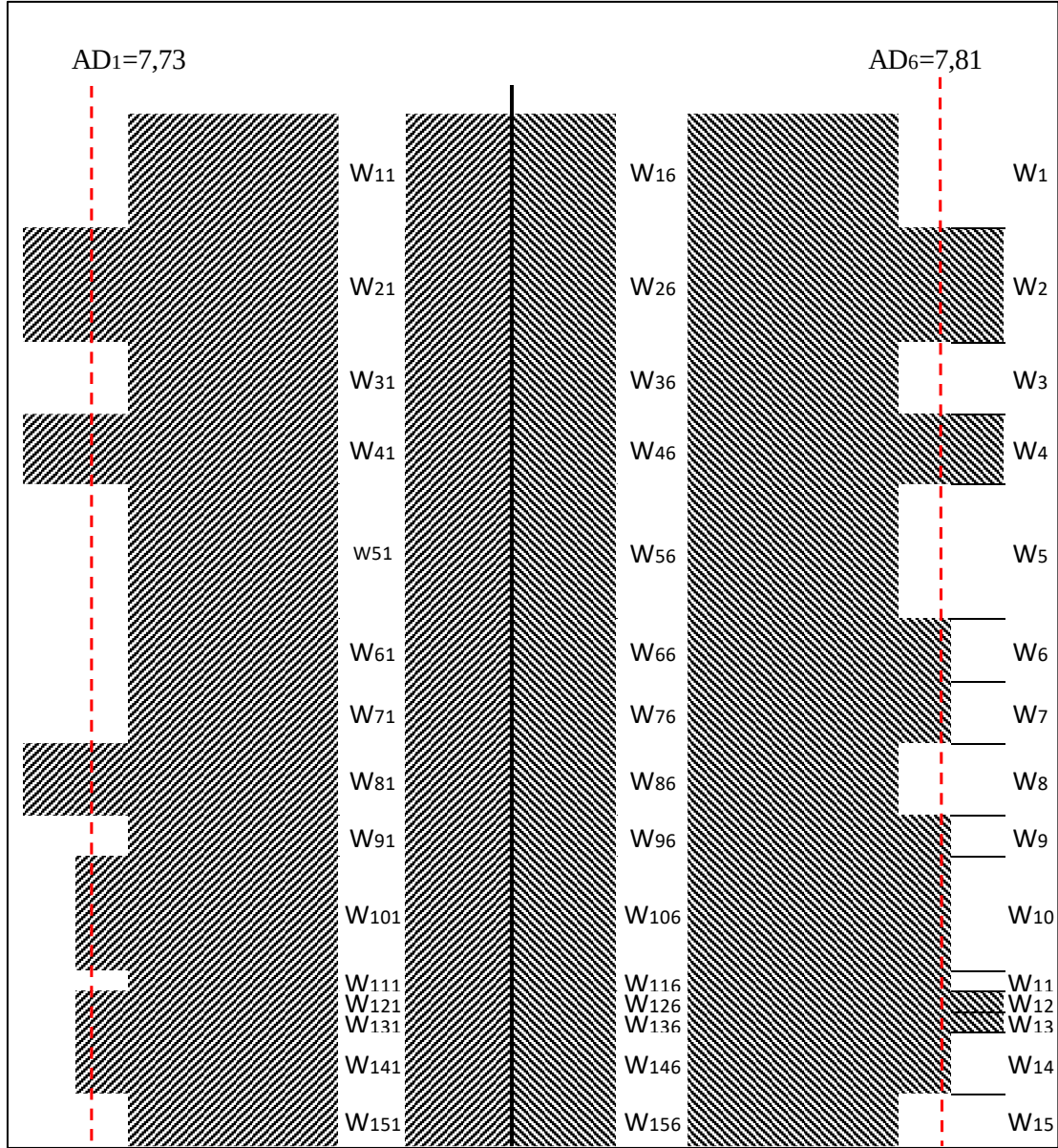


Resim 5.3. Kavramsal tasarım varyantı (Seçenek-6)

5.7. Demiryolu Ölçüm ve Muayene Aracı Tasarımı Ek Seçim İşlemleri

Ön değerlendirme işleminden sonra çözüm seçeneklerinin hem teknik hem de ekonomik açıdan yapılabilirliği ortaya konulmuştur. Bunun için “Pugh Analizi” kullanılmış ve daha önce “Kalite evi” aracı kullanılarak belirlenen tasarım parametreleri ve ağırlıkları matrisinin sol sütunlarına yazılmıştır. Tasarım parametreleri yazıldıktan sonra her bir parametre mümkün olduğunca ölçülebilir somut kavramlar ile ifade edilmiş ve her bir çözüm seçeneği için değerlendirme yapılarak sahip olduğu değer ve ağırlık değeri hesaplanmıştır. Bunun için değer analizi kullanılmış ve puanlama 1-10 aralığında yapılmıştır (Ek-3). Burada ağırlık değeri kullanılarak Seçenek-1 ve Seçenek-6 çözüm seçenekleri müşteri isteklerini en çok karşılayan çözümler olarak seçilmiştir.

Bundan sonraki adımda ise “Değer-Profil Diyagramı” kullanılarak çözüm kavramlarının zayıf noktaları (dengeli dağılım durumu) belirlenir. Çünkü çözüm çok değerli olsa bile zayıf noktası olmayan çözümün belirlenmesi sonraki geliştirme süreçlerinde problem oluşturmaması için daha önemlidir. Buna göre 6 no’lu seçenek daha dengeli bir dağılım gösterdiğinden en uygun ve optimum çözüm seçeneği olarak değerlendirilmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Demiryolu muayene ve ölçüm aracı için değer profili diyagramı

5.8. Tasarım Seçenekleri Değerlendirme ve Son Karar

KT süreci sonunda 6 no'lu tasarım en uygun seçenek olarak belirlenmiştir. Bu tasarımda ekartman ölçümü radar sensör ile, ray profili ölçümü lazer üçgenleme profil ölçme sensörü ile ve gabari ölçümü stereo görüş kamera ile yapılabilmektedir. Konum belirlemek için GPS'e ek olarak MEMS tabanlı IMU ve manyetik odometre kullanılmaktadır. Veri girişi yapma ve ölçümleri görüntülenme el bilgisayarı ile yapılmaktadır. Sistem ihtiyacı olan gücü Li-Po bataryalardan sağlamaktadır. Ray ile temas durumu iki adet kapasitif yakınlık sensörü ile takip edilmekte ve bu sensörden gelen verilere göre lineer vida ile araç yukarıya doğru hareket edebilmektedir. Boyutların azaltılması veya ekartman ayarlanması için kollar

gövdenin içine doğru hareket ederek ayarlanabilmektedir. Ayrıca, demiryolu aracına bağlı olduğu durumlarda fırçasız bir alternatör ile bataryalar şarj edilebilmektedir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yaratıcı yöntemler ile desteklenmiş KT adımları uygulanarak daha yaratıcı, değerli ve müşteri odaklı “Demiryolu ölçüm ve muayene aracı/arabası” tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım çalışması kapsamında piyasa araştırması ve teknolojik dönüşüm kanunları kullanılarak tasarım şartnamesi oluşturulmuştur. Daha sonra KFY’nin en önemli aracı olan kalite evi ile müşteri gereksinimleri tasarım parametrelerine dönüştürülmüştür. Ayrıca, tasarım parametreleri arasındaki ilişkiler değerlendirilerek problemler tanımlanmış ve TRIZ araçlarından çelişkiler matrisi ve yaratıcı prensipler ile çözüm ilkeleri belirlenmiştir. Çözüm ilkelerinin belirlenmesi için TRIZ’in “Bilimsel Etkiler” bilgi kaynaklarından yararlanılmıştır. Ayrıca, problemlerin mevcut kaynaklar ile çözülmesini sağlamak için TRIZ’in kaynaklar kavramı kullanılmıştır. Fonksiyon analizi ile yüksek maliyetli fonksiyonlar belirlenmiş ve bu fonksiyonlar üzerine odaklanılmıştır. Ayrıca, fonksiyon ilişkilerinin geliştirilmesi için DM’nin önemli bir aracı olan ve fonksiyonları mantıksal bir algoritma ile oluşturan FAST diyagramı kullanılmıştır.

Bu çalışma KT’nin meşhur inovatif stratejilerle desteklemesi açısından önemlidir. Bu stratejiler KT adımlarına şu önemli katkıları sağlamıştır.

1. Müşteri memnuniyetinin en üst seviyeden sağlanması için KFY’nin en önemli aracı olan Kalite evi kullanılmıştır. Kalite evi ile müşteri taleplerine en uygun tasarımın seçilmesi için gerekli olan uygun tasarım parametreleri belirlenmiştir. Böylece, doğru belirlenmiş müşteri talepleri ve tasarım parametreleri ile en doğru ürün özellikleri ortaya konulmuştur.
2. Çelişkiler matrisi, yaratıcı prensipler ve bilimsel etkiler araçları kullanılarak problemlerin hızlı ve daha yaratıcı bir şekilde çözülmesi sağlanmıştır.
3. Teknolojik dönüşüm kanunları doğrultusunda belirlenen parametreler ile mevcut pazarda rekabet edebilecek yeni nesil ürünün özellikleri belirlenmiştir.
4. DM yaklaşımları ile yüksek maliyetli fonksiyonlar üzerine odaklanılmış ve alternatif çözüm ilkeleri belirlenerek en değerli çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır. Tasarımın erken aşamalarında DM’nin yaklaşımlarının kullanılması ile daha değerli bir ürünün ortaya çıkarılması sağlanmıştır. Ayrıca, FAST diyagramı ile fonksiyonlar eksiksiz bir şekilde tanımlanmıştır.

5. TRIZ'in Kaynaklar kavramı ile kullanılabilir kaynaklar belirlenmiş ve mevcut problemlerin bu kaynaklar kullanılarak çözülmesi sağlanmıştır.

KT aşamasının etkinliğinin sağlanması ve endüstride uygulama alanının genişletilmesi için farklı alanlarda araştırmalar yapılabilir. Bu çalışma ile ilişkili olarak değer analizi yaklaşımları ile TRIZ'in ideallik, kaynaklar ve teknolojik dönüşüm kanunları araçları etkin kullanılarak daha sürdürülebilir tasarımlar için yeni tasarım modelleri oluşturulabilir. FAST diyagramının mantıksal fonksiyon ilişkisi geliştirme yaklaşımı KT'nin fonksiyon analizi adımı ile entegre edilebilir.



KAYNAKLAR

1. İnternet: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları. Faaliyet Raporu 2023. URL: <https://static.tcdd.gov.tr/webfiles/userfiles/files/istrapor/2023faaliyetrpr.pdf>, Son Erişim Tarihi: 10.06.2024.
2. İnternet: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. 2053 Ulaştırma ve Lojistik Ana Planı. URL: <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/bakanlik-yayinlari/20221025-2053-ulasirma-ve-lojistik-ana-planı-tr.pdf>, Son Erişim Tarihi: 17.04.2024
3. İnternet: Bağdatlı, M. E. C., Mutlu, S. (2019). Demiryolu Üstyapı Bakım-Yenileme Çalışmaları için bir Karar Destek Modeli Önerisi. URL: https://www.researchgate.net/publication/354537065_Demiryolu_Ustyapi_Bakim-Yenileme_Calismalari_icin_bir_Karar_Destek_Modeli_Onerisi, Son Erişim Tarihi: 17.04.2024.
4. Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K. H. (2010). *Mühendislik Tasarımı Sistematik Yaklaşım* (1. baskı). (Çev. H. R. Börklü). Ankara: Hatipoğlu Yayınevi.
5. Mayda, M., Börklü, H. R. (2014). Development of an innovative conceptual design process by using Pahl and Beitz's systematic design, TRIZ and QFD. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 8(3), 1-12.
6. Kurtoğlu, T., Tümer, I.Y., Jensen, D.C. (2010). A functional failure reasoning methodology for evaluation of conceptual system architectures. *Research in Engineering Design*, 21, 209-234.
7. Weiss, M. P., Hari, A. (2015). Extension of the Pahl and Beitz systematic method for conceptual design of a new product. *Procedia CIRP*, 36, 254-260.
8. Mayda, M. (2013). *Yeni Bir İnovatif Kavramsal Tasarım İşlem Modeli*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
9. Li, W., Li, Y., Wang, J., Liu, X.(2010). The process model to aid innovation of products conceptual design. *Expert Systems with Applications*, 37 (5), 3574-3587.
10. İnternet: Mandelbaum, J., Reed, D. L. (2006). Value Engineering Handbook. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA464089.pdf>, Son Erişim Tarihi:10.02.2024
11. Khosrojerdi, A. (2006). *Value engineering & six-sigma*. Paper presented in the 36th CIE Conference on Computers & Industrial Engineering, Iran University of science & technology, Tehran.
12. Lin, M.C., Wang, C.C., Chen, M.S., Chang, C. A. (2008). AHP and TOPSIS approaches in customer-driven product design process. *Computers in Industry*, 59(1), 17–31.
13. Natee, S., Teo, E. A. L., Low, S. P. (2016). *Quality Function Deployment for Buildable and Sustainable Construction*. Singapore: Springer Science+Business Media Singapore Pte Ltd.

14. İnternet: Livotov, P. (2008). TRIZ and Innovation Management. URL: https://www.researchgate.net/publication/242219907_TRIZ_and_Innovation_Management/link/63e7fc8d6425237563a6cb2a/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19, Son Erişim Tarihi: 18.04.2024.
15. Malmqvist, J., Axelsson, R., Johansson, M. (1996). *A Comparative Analysis of the Theory of Inventing problem Solving and the Systematic Approach of Pahl and Beitz*. Paper presented in the 1996 ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference, Chalmers University of Technology, Göteborg.
16. İlevbare, I.M., Probert, D., Phaal, R. (2013). A Review of TRIZ, and its benefits and challanges in practise. *Technovation*, 33, 30-37.
17. Russo, D., Regazzoni, D., Montecchi, T. (2011). Eco-design with TRIZ laws of evolution. *Procedia Engineering*, 9, 311-322.
18. İnternet: Borza, J. S. (2011). FAST Diagrams: The Foundation for Creating Effective Function Models. URL: https://www.aitriz.org/documents/TRIZCON/Proceedings/2011-06_FAST-Diagrams-The-Foundation-for-Creating-Effective-Function-Models.pdf, Son Erişim Tarihi: 18.04.2024.
19. Falamarzi, A., Moridpour, S., Nazem, M. (2019). A review on existing sensors and devices for inspecting railway infrastructure. *Jurnal Kejuruteraan*, 31(1), 1-10.
20. İnternet: Geismar. Our Products. URL: <https://geismar.com/?lang=en>, Son Erişim Tarihi: 19.04.2024.
21. İnternet: Mermec. Measurement Trains & Systems. URL: <https://www.mermecgroup.com/15/measurement-br-trains-e-systems.php>, Son Erişim Tarihi: 19.04.2024.
22. İnternet: Plasser-Theurer. Measuring Work. URL: <https://www.plassertheurer.com/en/machine/measuring-work/overview>, Son Erişim Tarihi: 19.04.2024.
23. İnternet: Harscorail. Equipment. URL: <https://www.harscorail.com/equipment/hy-rail.html>, Son Erişim Tarihi: 20.04.2024.
24. İnternet: Ensco. Inspection Technologies. URL: <https://www.ensco.com/rail/inspection-technologies>, Son Erişim Tarihi: 20.04.2024.
25. İnternet: Tvema. Track Geometry Assessment Systems. URL: <https://tvema.com/638>, Son Erişim Tarihi: 20.04.2024.
26. İnternet: Goldschmidt Smart Rail Solutions. Product&Services For Your Track. URL: <https://www.goldschmidt.com/en/portfolio>, Son Erişim Tarihi: 21.04.2024.
27. İnternet: KZV. Products. URL: <https://kzv.cz/products>, Son Erişim Tarihi: 21.04.2024.

28. İnternet: Amberg Technologies. Solution & Services. URL: <https://ambergtechnologies.com/solutions-services>, Son Erişim Tarihi: 21.04.2024.
29. İnternet: Selectravisio. On Trolley solutions for tracks profile and geometry measurements. URL: <https://www.selectravisio.com/tracks-trolley.php>, Son Erişim Tarihi: 22.04.2024.
30. İnternet: Donfabs&Consillia. Track Geometry. URL: <https://www.donfabsandconsillia.com/railway/Track-Geometry>, Son Erişim Tarihi: 18.04.2024.
31. İnternet: Paragon Instruments. Track Geometry Trolleys. URL: <https://paragoninstruments.com/railway-measurement/track-measurement/track-geometry-trolleys>, Son Erişim Tarihi: 18.04.2024.
32. Engstrand, A. (2011). *Railway surveying-a case study of the GRP 5000*, Yüksek Lisans Tezi, Royal Institute of Technology (KTH) Division of Geodesy and Geoinformatics, Stockholm, İsveç.
33. Alippi, C., Casagrande, E., Scotti, F., Piuri, V. (2000). Composite real-time image processing for railways track profile measurement. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 49(3), 559-564.
34. İnternet: Glaus, R. (2006). The Swiss Trolley: A modular system for track surveying. URL: <https://www.sgc.ethz.ch/sgc-volumes/sgk-70.pdf>, Son Erişim Tarihi: 18.01.2024.
35. Tsunashima, H., Naganuma, Y., Matsumoto, A., Mizuma, T., Mori, H., (2012). Condition monitoring of railway track using in-service vehicle. *Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics*, 3(1), 154-165.
36. Akpınar, B., Güral, E. (2011). Ray Hattı Geometrisinin Belirlenmesine Yönelik Ölçme Sistemi Tasarımı ve Geliştirilmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (104.2), 60-64.
37. Liu, Z., Sun, J., Wang, H., Zhang, G. (2011). Simple and fast rail wear measurement method based on structured light. *Optics and Lasers in Engineering*, 49(11), 1343–1351.
38. Zheng, S., Chai, X., An, X., Li, L. (2012). *Railway track gauge inspection method based on computer vision*. 2012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, 1292-1296.
39. Karaduman, G. (2013). *Demir yollarında ray profil analizi için üç boyutlu görüntü işleme*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
40. Molleda, J., Usamentiaga, R., Millara, Á. F., García, D. F., Manso, P., Suárez, C. M., García, I. (2016). A profile measurement system for rail quality assessment during manufacturing. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 52(3), 2684-2692.
41. Karaköse, M., Yaman, O., Murat, K., Akin, E. (2018). A New Approach for Condition Monitoring and Detection of Rail Components and Rail Track in Railway. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 11, 830-845.

42. Chen Q, Niu X, Zuo L, Zhang T, Xiao F, Liu Y, Liu J. (2018). A Railway Track Geometry Measuring Trolley System Based on Aided INS. *Sensors*, 18(2), 538.
43. Yogesh, N., Chinnappa, C.H.E., Karthik, H.K., Madhusudhan, L.E., Deepak, N. (2021). Intelligent Railway Track Crack and Obstacle Detection. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology (IJARSCT)*, 7(2):406.
44. Escalona J.L., Urda, P., Muñoz, S. (2021). A Track Geometry Measuring System Based on Multibody Kinematics, Inertial Sensors and Computer Vision. *Sensors*, 1-27.
45. Fey, V., Rivin, E. I. (2005). *Innovation on Demand New Product Development Using TRIZ (1. baskı)*. Cambridge: Cambridge University Press, 1-163.
46. Green, L. N., Bonollo, E. (2002). The Development of a Suite of Design Methods. *Global Journal of Engineering Education*, 6(1), 45-52.
47. Tomiyana, T., Gu, P., Jin, Y., Lutters, D., Kind, C., Kimura, F. (2009). Design methodologies: Industrial and educational applications. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 58, 543-565.
48. Erkens, A. (1928). Beiträge zur Konstruktionserziehung. Z. VDI 72
49. Hubka, V., Eder W.E. (1996). *Design Science*. London, Springer.
50. Ullman, D.G. (2002). *The Mechanical Design Process*. New York, McGraw Hill.
51. Altshuller, G. (1999). *The Innovation Algorithm TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity* (çev. L. Shulyak ve S. Rodman). Worcester: Technical Innovation Center.
52. Miles, L.D. (1989). *Techniques of Value Analysis and Engineering* (3.baskı). Amerika. Eleanor Miles Walker.
53. Akao, Y. (1990). *Quality function deployment*. Cambridge MA, Productivity Press.
54. Tomiyana, T., Birkhofer, H., Breedveld, P. (2010). *Teaching Creative Design by Integrating General Design Theory and The Pahl & Beitz Methodology*. Paper presented in Proceedings of the ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, Montreal.
55. İnternet: Society of American Value Engineering (SAVE). URL: https://www.pinnacleresults.com/images/VE_Standard_from_SAVE.pdf, Son Erişim Tarihi: 18.02.2024.
56. Cerqueiro, J., López, L., Pose, J. (2011). *A proposal to incorporate the Value Analysis/Value Engineering techniques into a PLM system*. Paper presented in International conference on Innovative Methods in Product Design, Venice.
57. Atabay, Ş., Galipoğulları, N. (2013). Application of Value Engineering in Construction Projects. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 1 (1), 39-48.

58. İnternet: Rich, N., Holweg, M. (2000). Value Analysis, Value Engineering. URL: https://www.ivma.org.au/wp-content/uploads/2019/05/14.Value_Analysis_Value_Engineering_-_Rich_and_Holweg_2000.pdf, Son Erişim Tarihi: 18.02.2024.
59. Mukhopadhyaya, A. K. (2009). *Value Engineering Mastermind From Concept to Value Engineering Certification* (1. baskı). New Delhi: Vivek Mehra.
60. Gadd, K. (2011), *TRIZ for Engineers:Enabling Inventive Problem Solving*. West Sussex: John Wiley & Sons Publication.
61. Ekmekçi, İ., Nebati, E. E. (2019). *Triz Methodology and Applications*. 3rd World Conference on Technology, 158, 303-315.
62. Ghane, M., Ang, M. C., Cavalucci, D., Kadir, R.A., Ng, K.W., Sorooshian, S. (2022). TRIZ trend of engineering system evolution: A review on applications, benefits, challenges and enhancement with computer-aided aspects. *Computers & Industrial Engineering*, 174.
63. Berk, J., Berk, S. (2000). *Quality management for the Technology Sector* (1.baskı). Woburn: Butterworth-Heinemann Publication.
64. Karsak, E. E., Sozer, S., Alptekin, S. E. (2003). Product planning in quality function deployment using a combined analytic network process and goal programming approach. *Computers & Industrial Engineering*, 44, 171-190.
65. Hauser, J.R., Clausing, D.P., Garvin, D.A. (1988). *The House of Quality*. Cambridge, Harvard Business Review.
66. Naveiro, R. M., Oliveira, V. M. (2018). QFD and TRIZ integration in product development:a Model for Systematic Optimization of Engineering Requirements. *Production*, 28, 1-15.
67. Yamashina, H., Ito, T., Kawada, H. (2002). Innovative Product Development Process by Integrating QFD and TRIZ. *International Journal of Production Research*, 40 (5), 1035-1050.
68. Kamarudin, K. M., Ridgway, K., Hassan, M. R. (2015). Modelling the Conceptual Design Process with Hybridization of TRIZ Methodology and Systematic Design Approach. *Procedia Engineering*, 131, 1064-1072.
69. Ibusuki, U., Kaminski, P. C. (2007). Product development process with focus on value engineering and target-costing: A case study in an automotive company. *International Journal of Production Economics*, 105, 459-474.
70. Leber, M., Bastic, M., Mavric, M., Ivanisevic, A. (2014). *Value Analysis as an Integral Part of New Product Development*. 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 69, 90-98.
71. Mao, X., Zhang, X., Abourizk, S. M. (2009). Enhancing Value Engineering Process by Incorporating Inventive Problem Solving Techniques. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(5), 416-424.

72. Silva, F., L., R., Cavalcá, K.T., Dedini, F.G. (2004). Combined application of QFD and VA tools in the product design process. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 21(2), 231-252.
73. Börklü, H. R., Bozbuğa, F., Sezer, H. K., Özdemir, V. (2018). A Novel Conceptual Design of a Stairlift for Elderly and Disabled People. *Journal of Science-Part A: Engineering and Innovation*, 5(1), 17-29.
74. Caligiana, G., Liveran, A., Frizziero, L., Donnici, G. (2017). Integrating QFD and TRIZ for innovative design. *Journal of Advanced Mechanical Design Systems and Manufacturing*, 11(2), 1-15.
75. Makino, K., Sawaguchi, M., Miyata, N. (2015). Research on Functional Analysis Useful for Utilizing TRIZ. *Procedia Engineering*, 131, 1021-1030.
76. Silaskar, S. M., Shinde, V. B. (2018). Weight Optimization of Valve for Cost Effectiveness: Using Value Analysis. *Procedia Manufacturing*, 20, 329-337.
77. Desai, T. N., Prajapati, S. R., Patel, H. (2016). *Application of Value Engineering to Rework Reduction in Ship Building Project*. Paper presented in MATEC Web of Conferences.
78. Mendoza, N., Ahuett, H., Molina, A. (2003). *Case Studies in the Integration of QFD, VE*. Paper presented in the Proceedings of the 9th International Conference of Concurrent Enterprising, Espoo.
79. Yan, J., Luo, W., Wang, J., Yang, W., Ma, Y., Jiang, D., Jia, J. (2022). Application of the quality function deployment method in the mechanical structure design of subsea power devices. *Ocean Engineering*, 247.
80. Rianmora, S., Werawatganon, S. (2021). Applying Quality Function Deployment in Open Innovation Engineering. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7 (26).
81. Fazeli, H.R., Peng, Q. (2022). Generation and evaluation of product concepts by integrating extended axiomatic design, quality function deployment and design structure matrix. *Advanced Engineering Informatics*, 54.
82. Zhang, F., Yang, M., Liu, W. (2014). Using integrated quality function deployment and theory of innovation problem solving approach for ergonomic product design. *Computers & Industrial Engineering*, 76, 60–74.
83. Sharaf, K., Ishak, M.R., Sapuan, S.M., Yidris, N. (2020). Conceptual design of the cross-arm for the application in the transmission towers by using TRIZ–morphological chart-ANP methods. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4).
84. İnternet: Zlotin, B., & Zusman, A. (2005). The Concept of Resources in TRIZ: Past, Present and Future. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=4dff555e181e03fb10763103c0c3df4028d66958>, Son Erişim Tarihi: 14.03.2024.

85. Cascini, G. (2012). TRIZ-based Anticipatory Design of Future Products and Processes. *Journal of Integrated Design and Process Science*, 29-63.
86. İnternet: Domb, E. (1997). The Ideal Final Result: Tutorial. *The TRIZ Journal*. URL: <https://www.metodolog.ru/triz-journal/archives/1997/02/a/index.html>, Son Erişim Tarihi: 14.04.2024.
87. İnternet: Rantanen, K. (1998). *Eleven Uses of Effects*. The TRIZ journal. <https://www.metodolog.ru/triz-journal/archives/1998/09/b/index.html>, Son Erişim Tarihi: 14.04.2024.
88. Hainess-Gadd, L. (2016). *TRIZ for Dummies* (1.baskı). West Sussex, John Wiley & Sons Publication.
89. Salamatov, Y. (2005). *TRIZ: The Right Solution at the Right Time* (2.baskı) (çev. O. Kraev). Krasnoyarak: Institute of Innovative Design.
90. İnternet: Oxford Creativity. Effects Database. URL: <https://www.triz.co.uk/triz-effects-database>, Son Erişim Tarihi: 16.04.2024.





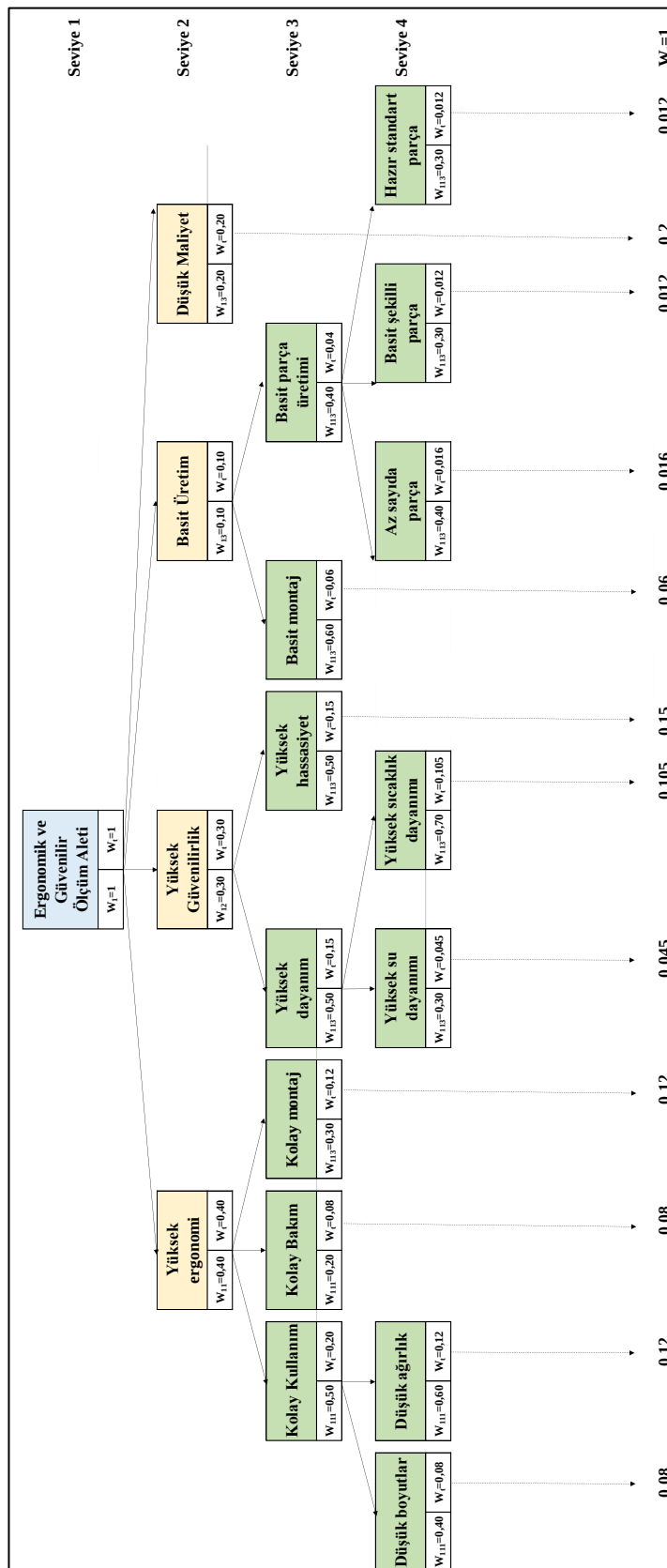
EKLER

EK-1. Seçilen tasarım yöntemlerinin karşılaştırılması

Çizelge 1.1. Seçilen tasarım yöntemlerinin karşılaştırılması

<i>Karşılaştırma Ölçütleri</i>	<i>Sistematik Tasarım</i>	<i>DM/DA</i>	<i>TRIZ</i>	<i>KFY</i>
<i>Amaç</i>	Tasarım süreçlerini kolaylaştırmak, yaratıcı çözümler üretmek	Maliyeti azaltmak, kaliteyi iyileştirmek, kazancı artırmak, kaynakları daha verimli kullanmak	Problemleri yaratıcı bir şekilde çözmek, maliyetleri azaltmak, kaynakları verimli kullanmak	Ürün kalitesini iyileştirmek, maliyeti azaltmak, gelirleri artırmak
<i>Kapsam</i>	Tüm tasarım süreci, basit ve zor problemler, parça ve sistem tasarımı	Tüm tasarım süreci, ürün, sistem, proje, tesis, hizmet, satın alma, prosedür tasarımı	Sistem, süreç, yeni ürün tasarımı, mevcut ürün iyileştirmesi	Yeni ürün ve hizmet tasarımı, mevcut ürün ve hizmet iyileştirmesi
<i>Tasarım kısıtları</i>	Tasarım süresi uzun, uygulamada zorluk, uzun tecrübe gerektirmesi ve tekniklerin yanlış kullanımı	Motivasyon, değişime karşı direnç, bilgi eksikliği vb. insana bağlı kusurlara bağlı zayıf değer.	Öğrenme süresi uzun, doğru araç seçimi zor	Tasarım adımları uzun ve karmaşık sistemlere uygulanması zor.
<i>Görevin belirlenmesi</i>	Tanımlı genel prosedür	KFY, Pareto analizi, Güçlü-Zayıf-Fırsat-Tehdit (GZFT) analizi	Teknolojik dönüşüm kanunları, S-eğrisi, Patentler	Kalite evi
<i>Önemli problemlerin tanımlanması</i>	Temel problemlerin soyutlanması	Fonksiyon Analizi FAST Diyagramı	Fonksiyon analizi, çelişkiler matrisi	Korelasyon matrisi
<i>Çözüm üretme araçları</i>	Fiziksel etkiler, Tasarım katalogları, Makine elemanı derlemeleri	-	Yaratıcı prensipler, teknolojik dönüşüm kanunları, standart çözümler, bilimsel etkiler, ayırma prensipleri, madde-alan analizi	-
<i>Yaratıcı metotlar</i>	Beyin fırtınası, Sinektik, 6-3-5 metodu, Delfi metodu	Beyin fırtınası, Gordon tekniği, Kontrol listesi, Morfolojik analiz, TRIZ	-	-
<i>Çözüm uzayı</i>	Muhtemel bütün çözümler	Muhtemel bütün çözümler	Uygun çözümler	-
<i>Değerlendirme</i>	Seçim kartı, VDI-2225 rehberi ve değer analizi	Pugh matrisi, yaşam boyu maliyetler, çözüm avantajları ve değer indeksi	Pugh matrisi	-

EK-2. Ekartman ve dever ölçüm aleti kavramsal tasarımı



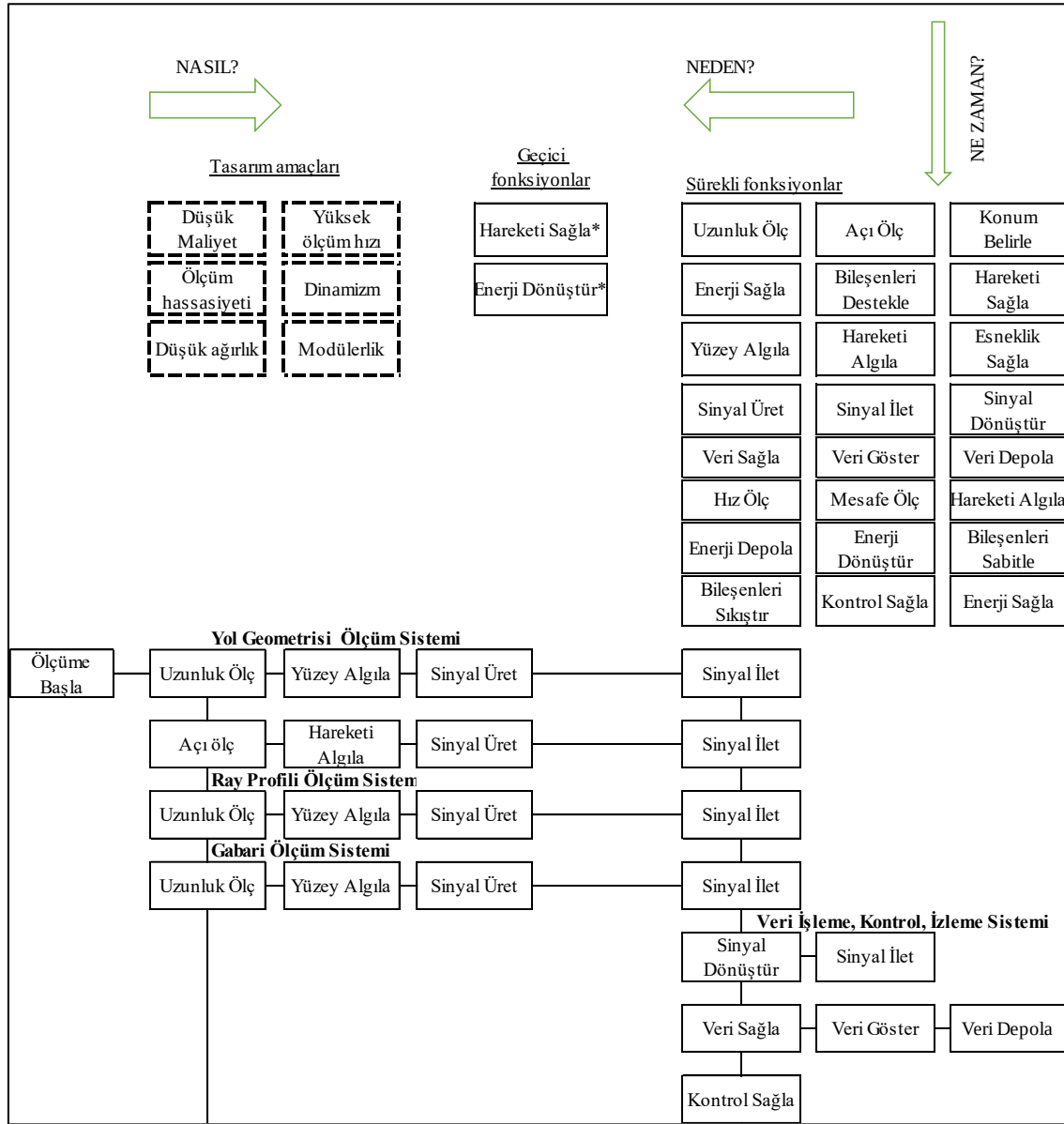
Şekil 2.1. Ekartman ve dever ölçüm aleti için amaçlar ağacı

EK-2. (devam) Ekartman ve dever ölçüm aleti kavramsal tasarımı

Çizelge 2.1. Ekartman ve dever ölçüm aleti değerlendirme çizelgesi

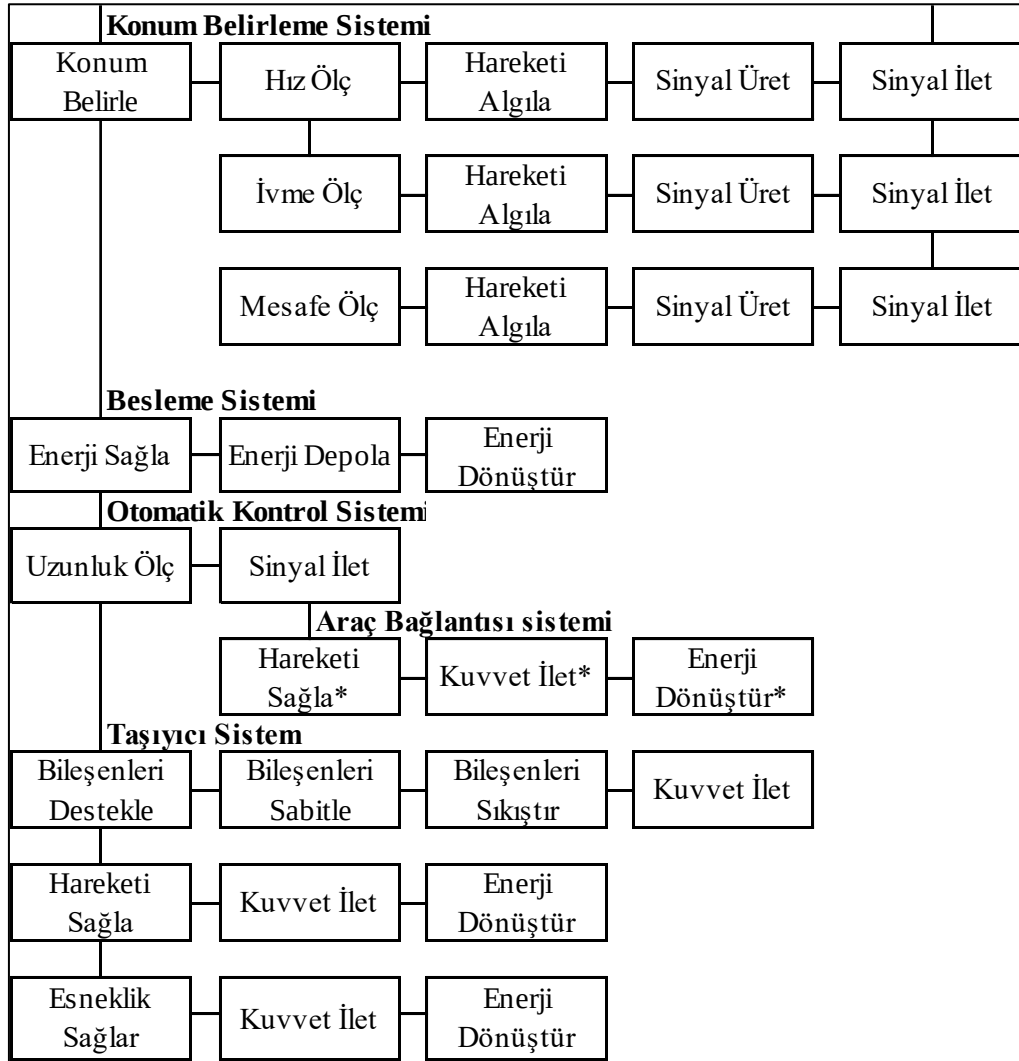
Tasarım Parametreleri		Teknik Parametreler		Seçenek 2		Seçenek 3		Seçenek 5	
Parametre	Ağırlık (W)	Parametre	Birim	Büyüklik	Değer (D)	Ağırlık (AD)	Büyüklik	Değer (D)	Ağırlık (AD)
Düşük boyut	0,080	Uzunluk	m	1,675	7	0,56	1,585	8	0,64
Düşük ağırlık	0,120	Ağırlık	kg	1,1-1,5	9	1,08	2-2,2	6	0,72
Kolay bakım	0,080	Bakım süresi	dk	2-3	8	0,64	2-3	8	0,64
Kolay Montaj	0,120	Montaj süresi	sn	3	8	0,96	10	7	0,84
Yüksek su dayanımı	0,045	Yalıtım Malzemesi sayısı	Adet	3	8	0,36	3	8	0,36
Yüksek sıcaklık dayanımı	0,105	Maksimum çalışma sıcaklığı	°C	85	9	0,945	70	8	0,84
Yüksek hassasiyet	0,150	Ölçüm hassasiyeti	mm	1	8	1,2	1	8	1,20
Basit montaj	0,060	Montaj süresi	dk	5	7	0,42	5	7	0,42
Az sayıda parça	0,016	Parça sayısı	Adet	11	8	0,128	13	7	0,112
Basit şekilli parça	0,012	Basit şekilli parça sayısı	Adet	7	8	0,096	7	8	0,096
Hazır standart parça	0,012	Standart parça sayısı	Adet	4	7	0,084	5	8	0,096
Düşük Maliyet	0,200	Maliyet	TL	>12 000	9	1,8	>15 000	8	1,6
$\sum W_i=1$				$\sum D_i=88, \sum AD_i=8,27$		$\sum D_i=83, \sum AD_i=7,56$		$\sum D_i=84, \sum AD_i=7,58$	

EK-3. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı tasarımı



Şekil 3.1. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için FAST diyagramı

EK-3. (devam) Demiryolu ölçüm ve muayene aracı tasarımı



Şekil 3.1. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için FAST diyagramı

EK-3. (devam) Demiryolu ölçüm ve muayene aracı tasarımı

Çizelge 3.1. Teknik çelişkiler için uygun çözüm ilkeleri

No	Çelişkiler	Uygun TRIZ Çelişkisi		TRIZ Prensipleri	En Uygun Çözüm	
P1	Fonksiyonellik-Tasarım Basitliği	39	Üretkenlik	12,17,28,24	28	Mekanik sistem yerine farklı sistemler kullanmak
		36	Cihazın karmaşıklığı			
P2	Fonksiyonellik-Ağırlık	39	Üretkenlik	35,26,24,37	26	Kopyalama
		1	Hareketli cismin ağırlığı			
P3	Fonksiyonellik-İmalat kolaylığı	39	Üretkenlik	35,28,2,24	28	Mekanik sistem yerine farklı sistemler kullanmak
		32	İmalat kolaylığı			
P4	Fonksiyonellik-Kullanım kolaylığı	39	Üretkenlik	1,28,7,19	28	Mekanik sistem yerine farklı sistemler kullanmak
		33	Kullanım Kolaylığı			
P5	Fonksiyonellik-Enerji Tüketimi	39	Üretkenlik	35,20,10	20	Faydalı eylemi sürdürme
		21	Güç			
P6	Ölçüm Hızı-Ölçüm Hassasiyeti	9	Hız	28,32,1,24	28	Mekanik sistem yerine farklı sistemler kullanmak
		28	Ölçüm Hassasiyeti			
P7	Ölçüm Hızı-Ağırlık	9	Hız	8,28,13,38	28	Mekanik sistem yerine farklı sistemler kullanmak
		1	Hareketli cismin ağırlığı			
P8	Ölçüm Hızı-Dayanım	9	Hız	8,3,26,14	3	Lokal Kalite
		14	Mukavemet			
P9	Ölçüm Hızı-Güvenilirlik	9	Hız	11,35,27,28	35	Parametre Değişikliği
		27	Güvenilirlik			
P10	Dinamizm-Tasarım Basitliği	35	Uyumluluk	15,29,37,28	28	Mekanik sistem yerine farklı sistemler kullanmak
		36	Cihazın Karmaşıklığı			
P11	Dinamizm-Ağırlık	35	Uyumluluk	1,6,15,8	6	Genellik
		1	Hareketli cismin ağırlığı			
P12	Dinamizm-İmalat Kolaylığı	35	Uyumluluk	1,13,31	1	Bölme/bölümleme
		32	İmalat kolaylığı			
P13	Dinamizm-Tamir Kolaylığı	35	Uyumluluk	1,16,7,4	1	Bölme/bölümleme
		34	Tamir Kolaylığı			
P14	Ağırlık-Dayanım	1	Hareketli cismin ağırlığı	28,27,18,40	40	Kompozit Malzemeler
		14	Mukavemet			
P15	Ağırlık-Kullanım Kolaylığı	1	Hareketli cismin ağırlığı	35,3,2,24	3	Lokal Kalite
		33	Kullanım Kolaylığı			
P16	Otomasyon seviyesi-Tasarım Basitliği	38	Otomasyon derecesi	15,24,10	10	Ön eylem
		36	Cihazın Karmaşıklığı			
P17	Otomasyon seviyesi-Ağırlık	38	Otomasyon derecesi	28,26,18,35	28	Mekanik sistem yerine farklı sistemler kullanmak
		1	Hareketli cismin ağırlığı			
P18	Otomasyon seviyesi-İmalat kolaylığı	38	Otomasyon derecesi	1,26,13	1	Bölme/bölümleme
		32	İmalat kolaylığı			
P19	Otomasyon seviyesi-Enerji Tüketimi	38	Otomasyon derecesi	28,27,2	28	Mekanik sistem yerine farklı sistemler kullanmak

EK-3. (devam) Demiryolu ölçüm ve muayene aracı tasarımı

Çizelge 3.2. Demiryolu ölçüm ve muayene aracı için değerlendirme çizelgesi

Tasarım Parametreleri	Teknik Parametreler			Seçenek 1			Seçenek 5			Seçenek 6		
	Ağırlık (W)	Parametre	Birim	Büyüklik	Değer (D)	Ağırlıklı Değeri (AD)	Büyüklik	Değer (D)	Ağırlıklı Değeri (AD)	Büyüklik	Değer (D)	Ağırlıklı Değeri (AD)
Fonksiyonellik	0,11	Fonksiyon sayısı	Adet	7	7	0,77	7	7	0,77	7	7	0,77
Ölçüm Hızı	0,11	Hız	km/h	30	9	0,98	25	7	0,76	30	9	0,98
Düşük Maliyet	0,07	Maliyet	TL	-	7	0,50	9	8	0,58	-	7	0,50
Ölçüm Hassasiyeti	0,09	Hassasiyet/Çözünürlük	mm	-	9	0,77	7	7	0,60	8	9	0,77
Dinamizm	0,13	Esnelik bileşeni sayısı	Adet	-	7	0,88	-	7	0,88	-	7	0,88
Tasarım Basitliği	0,06	Basitlik	-	7	7	0,42	-	6	0,36	-	8	0,48
Modülerlik	0,06	Basitlik	-	7	7	0,41	-	7	0,41	-	8	0,47
Ağırlık	0,07	Kütle miktarı	kg	63	9	0,62	103	6	0,41	86	7	0,48
Dayanım	0,04	Dayanım	-	-	7	0,25	-	9	0,33	-	8	0,29
Güvenilirlik	0,11	Ölçüm doğruluğu	-	-	8	0,88	-	7	0,77	-	8	0,88
İmalat Kolaylığı	0,02	İmalat süresi	saat	-	7	0,13	-	6	0,11	-	8	0,15
Kullanım Kolaylığı	0,02	Ergonomi	-	-	8	0,19	-	6	0,14	-	9	0,21
Tamir Kolaylığı	0,02	Basitlik	-	-	8	0,14	-	8	0,14	-	9	0,16
Otomasyon seviyesi	0,06	Kontrol seviyesi	-	-	8	0,46	-	8	0,46	-	8	0,46
Enerji Tüketimi	0,05	Güç	kWh	-	7	0,34	-	6	0,29	-	7	0,34
$\Sigma W=1$				$\Sigma D_1=115$ $\Sigma AD_1=7,73$			$\Sigma D_5=105$ $\Sigma AD_5=7,00$			$\Sigma D_1=119$ $\Sigma AD_1=7,81$		



Gazili olmak ayrıcalıktır