YENİ BİR İNOVATİF KAVRAMSAL TASARIM İŞLEM MODELİ

Murat MAYDA

DOKTORA TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAYIS 2013
ANKARA

Murat MAYDA tarafından hazırlanan "YENİ BİR İNOVATİF KAVRAMSAL TASARIM İŞLEM MODELİ" adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ …….
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Bedri TUÇ ……
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ ……
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Selim ÇETİNKAYA ……
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Ulvi ŞEKER ……
İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Cem SİNANOĞLU ……
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı, E.Ü.
Tez Savunma Tarihi: 07/05/2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU …….
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Murat MAYDA

YENİ BİR İNOVATİF KAVRAMSAL TASARIM İŞLEM MODELİ

(Doktora Tezi)

Murat MAYDA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2013

ÖZET

Kavramsal tasarım, mühendislik tasarım işleminin en kritik aşamasıdır. Çünkü bu aşama inovasyon ve ürün maliyetini büyük oranda etkiler. Buna karşın mevcut tasarım yazılımları daha çok şekillendirme ve ayrıntılı tasarımı destekler. Genelde bu sistemler; çizim, analiz, simülasyon vb. hususları içerirler. Yeni nesil CAD/E sistemleri ise temelde inovatif kavramsal tasarım işlemine dayalı olacaktır. İnovatif bir kavramsal tasarım işlemi; kapsamlı, sistematik, yenilikçi ve işbirliğine dayalı bir yapıda olmalıdır. Ancak güncel araştırma çalışmaları bu tür inovatif kavramsal tasarım işlemlerini içermemektedir. Bu nedenle de inovatif ürün tasarlamada yetersiz kalmaktadır. Sorunu çözmek için bu tez kapsamında geliştirilen yeni bir inovatif kavramsal tasarım işlem modeli önerilebilir. Bu model, Pahl ve Beitz'in kavramsal tasarımı, QFD, TRIZ ve SysML yaklaşımlarından oluşmaktadır. Bu modelin yeterlilik ve güvenilirliği bazı örnek tasarım uygulamaları ile gösterilmiştir. Uygulamalar sonucunda yüksek düzeyde inovatif çözümler elde edilmiştir. Ayrıca tasarım çıktıları SysML diyagramları ile modellenmiştir. Bu modeller yeni CAD/E sistemleri geliştirmeye sağlam bir temel oluşturabilir.

Bilim Kodu : **708.3.029**
Anahtar Kelimeler : **Kavramsal tasarım, SysML, QFD, TRIZ, inovatif tasarım**
Sayfa Adedi : **240**
Tez Yöneticisi : **Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ**

A NEW INNOVATIVE MODEL OF CONCEPTUAL DESIGN PROCESS

(PhD.Thesis)

Murat MAYDA

GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

May 2013

ABSTRACT

Conceptual design is the most critical phase of engineering design process. This is because that it has a direct effect on innovation and the product costs. However, the existing design software systems have usually served embodiment and detail phases. These systems often serve the aims of drawing, analysis, simulation in the design process. We envision that new generation CAD/E systems mainly will built on innovative conceptual design process. An innovative conceptual design process must be developed in a comprehensive, systematic, inventive and collaborative structure. But, actual works being conducted on this subject do not still include all aspects of the innovative conceptual design. Therefore, they are not sufficient to design innovative products. To overcome the challenge, in the dissertation we aim to develop a new innovative conceptual design process. This model consists of Pahl and Beitz's conceptual design approach, QFD, TRIZ and SysML. To prove the efficiency and the reliability of this model, some design case studies are carried out. As a result high level innovative solutions are obtained. Also all design outputs are modeled by SysML diagrams. We believe that these models can be a robust base for the development of new generation CAD/E systems.

Science Code : 708.3.029
Key Words : Conceptual design, SysML, QFD, TRIZ, innovative design
Page Number : 240
Advise : Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren ve manevi destek sağlayan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ'ye teşekkür ederim. Ayrıca tezin gelişimi hakkında kıymetli katkı ve önerilerinden ötürü Prof. Dr. Bedri TUÇ ve Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN hocalarıma da şükranlarımı arz ediyorum. Son olarak sevgi, sabır ve fedakârlık içinde bana her türlü desteği sağlayan biricik eşim Merve MAYDA'ya da müteşekkirim.

Bu tezi; beni dünyaya getiren ve her türlü imkansızlıklar içinde okuyup bu günlere gelmemi sağlayan rahmetli annem Münevver ve babam Mehmet MAYDA'ya, çocukluk yıllarımdan itibaren hem velim hem de velinimetim olan çok kıymetli ağabeyim Birol ÇİÇEK'e ve sevgili eşim Merve MAYDA'ya ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xiii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xv

SİMGELER VE KISALTMALAR xx

1. GİRİŞ 1

1.1. Tezin Amacı 4

1.2. Araştırma Yöntemi ve İşlem 5

1.3. Tezin Organizasyonu 5

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 7

2.1. Tasarım İşlem Modelleri 7

2.1.1. Cross'un tasarım işlem modeli 7

2.1.2. French'in tasarım işlem modeli 8

2.1.3. VDI 2221 tasarım işlem modeli 9

2.1.4. Pahl ve Beitz'in sistematik tasarım yaklaşımı 11

2.2. Güncel Kavramsal Tasarım Araştırmaları 13

2.2.1. Kavramsal tasarım işlemini önemli ölçüde içerenler 14

2.2.2. Kavramsal tasarım işlemini kısmen içerenler 15

3. KAVRAMSAL TASARIM 22

3.1. Tasarım Görevini Belirleme ve Düzenleme 22

3.2. Görevin Genel ve Temel İfadesi 23

Sayfa

3.3. Fonksiyon Şemaları (Yapıları) Oluşturma 24
3.4. Çalışma İlkeleri Arama 25
3.4.1 Geleneksel yöntemler 26
3.4.2. Sezgisel yöntemler 27
3.4.3. Etkileşimli yöntemler 29
3.5. Çalışma İlkelerini Birleştirme (Sentez) 31
3.6. Uygun Birleşimleri Seçme 31
3.7. Çözüm Seçenekleri Oluşturma ve Gösterme 32
3.8. Çözüm Seçeneklerini Değerlendirme 32
3.9. Kavramsal Tasarım Örneği 33
3.9.1. Tasarım görevini belirleme ve düzenleme (ihtiyaç listesi) 33
3.9.2. Görevin genel ve temel ifadesi 35
3.9.3. Fonksiyon şemaları (yapıları) oluşturma 35
3.9.4. Çalışma ilkelerini arama 36
3.9.5. Çalışma ilkelerini birleştirme (sentez) 37
3.9.6. Uygun birleşimleri seçme 38
3.9.7. Çözüm seçenekleri oluşturma ve gösterme 39
3.9.8. Çözüm seçeneklerini değerlendirme 41
4. YARATICI PROBLEM ÇÖZME YÖNTEMLERİ 45
4.1. SIT, ASIT, USIT 45
4.2. Zihin Haritalama 46
4.3. Sinektik 48
4.4. QFD (Kalite Fonksiyon Yayılımı) 50

Sayfa

4.5. TRIZ 52
4.5.1. Giriş 52
4.5.2. TRIZ'in tarihçesi 54
4.5.3. TRIZ Felsefesi 55
4.5.4. TRIZ Araçları 59
5. KAVRAMSAL TASARIMDA TRIZ KULLANIMI 70
5.1. Yöntem 70
5.1.1. Önemli problemleri TRIZ kullanarak belirleme 72
5.1.2. Alt fonksiyonlara çözüm aramada TRIZ kullanımı 74
5.2. Örnek Çalışma: Delgeç Kavramsal Tasarımında TRIZ Kullanımı 74
5.2.1. Önemli problemleri belirleme ve TRIZ kullanımı 76
5.2.2. Alt fonksiyonlara çözüm aramada TRIZ kullanımı 82
5.3. Sonuç 88
6. YENİ NESİL TASARIM TEMSİL YÖNTEMLERİ 91
6.1. UML 91
6.2. SysML 92
6.3. MOKA 95
6.4. CPM 98
7. SysML İLE ÖRNEK BİR TASARIM PROBLEMİ MODELLEME 105
7.1. Paket Diyagramlar (Package Diagrams) 106
7.2. Kullanım Senaryo Diyagramı (Use Case Diagrams) 108
7.3. Sıralama Diyagramları 109
7.4. Durum Çalışma Diyagramları 111

Sayfa

7.5. İhtiyaç Diyagramı 112
7.6. Blok Tanım ve İç Blok Diyagramı 113
7.7. Sınırlandırma Blokları ve Parametrik Diyagram 119
7.8. Faaliyet Diyagramı 123
8. GELİŞTİRİLEN YENİ BİR KAVRAMSAL TASARIM İŞLEM MODELİ 127
8.1. Geliştirilen KT İşlem Modeli 128
8.1.1. Tasarım şartnamesini düzenleme 130
8.1.2. Müşteri ihtiyaçlarını QFD ile tasarım parametrelerine (TP) aktarma 130
8.1.3. Tasarım parametre çelişkilerini tespit etme 130
8.1.4. TP çelişkilerine TRIZ ile problem tanımları bulma 131
8.1.5. Sistem kapsam diyagramları oluşturma 131
8.1.6. Kullanım senaryo diyagramları oluşturma 132
8.1.7. Alt fonksiyonlar belirleme ve fonksiyon yapısı oluşturma 132
8.1.8. Alt Fonksiyonlara çözümler arama 132
8.1.9. Uygun çözümleri belirleme 133
8.1.10. İyi çözüm(ler)e karar verme 133
8.1.11. Madde-alan analizi ile kesin çözümü iyileştirme 134
8.1.12. Tasarım çıktılarını SysML ile modeleme 134
8.2. Ön Arıtma Amaçlı Otomatik Mekanik Su Filtre Tasarımı 137
8.2.1. Su filtreleme 137
8.3. Filtreleme Sistemleri 141
8.3.1. Geleneksel filtreleme sistemleri 142
8.3.2. Membran filtre sistemleri 144

Sayfa

8.3.3. Kartuş filtre sistemleri 146
8.3.4. Hibrit filtreleme sistemleri (HFS) 146
8.4. Kaynak Araştırması 146
8.5. Tasarım Şartnamesi 152
8.6. Müşteri İhtiyaçlarını QFD ile Mühendislik Parametrelerine Aktarma 154
8.7. Tasarım Parametre Çelişkilerini Tespit Etme 154
8.8. TP Çelişkilerine TRIZ ile Problem Tanımları Bulma 156
8.9. Sistem Kapsam Diyagramları Oluşturma 158
8.10. Kullanım Senaryo Diyagramlarını Oluşturma 159
8.11. Alt Fonksiyonlar Belirleme ve Fonksiyon Yapısı Oluşturma 160
8.12. Alt Fonksiyonlara Çözümler Arama 161
8.13. Uygun Çözümleri Belirleme 166
8.14. İyi Çözüm(ler)e Karar Verme 167
8.15. Madde-Alan Analizi ile Kesin Çözümü İyileştirme 172
8.16. Tasarım Çıktılarını SysML ile Modelleme 174
8.16.1. Tasarım şartnamesini ihtiyaç diyagramı ile modelleme 174
8.16.2. Tasarım parametrelerini ihtiyaç diyagramı ile modelleme 174
8.16.3. TP çelişkilerini ihtiyaç diyagramı ile modelleme 174
8.16.4. Yaratıcı problem tanımlarını ihtiyaç diyagramı ile modelleme 174
8.16.5. Alt fonksiyonları blok diyagramı ile modelleme 175
8.16.6. Kesin çözüm seçeneğini blok diyagramı ile modelleme 175
9. SONUÇ VE ÖNERİLER 182
KAYNAKLAR 184

Sayfa

EKLER 192

EK-1. SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko 193

EK-2. 40 TRIZ Prensibi 218

ÖZGEÇMİŞ 239

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Günce KT çalışmalarını genel bir karşılaştırma 21

Çizelge 3.1. Varyatör için bir tasarım şartnamesi 34

Çizelge 3.2. Varyatör için sınıflandırma şeması 37

Çizelge 3.3. Öncelikli çözümleri tespit etme 38

Çizelge 3.4. Uygun varyatör çözüm seçenekleri belirleme için seçim kartı 39

Çizelge 3.5. Varyatör seçenekleri için değerlendirme tablosu 43

Çizelge 4.1. Yenilik düzey ve kapsamları 53

Çizelge 4.2. Standart Çözümler 59

Çizelge 4.3. Mühendislik parametreleri 65

Çizelge 4.4. 40 prensip 66

Çizelge 4.5. Bilinen problem çözme yöntemlerinin karşılaştırılması 68

Çizelge 5.1. Pratik problem bulma çizelgesi 73

Çizelge 6.1. Yeni nesil projelerin/yöntemlerin karşılaştırılması 104

Çizelge 7.1. Varyatörün davranış ve yapı modeli arasındaki dağıtım işlemi 126

Çizelge 8.1. Bazı ülkelerdeki su miktarlarının yıllara göre değişimleri 138

Çizelge 8.2. Son zamanlarda yapılan ön arıtma çalışmalarından bazıları 148

Çizelge 8.3. RO / NF besleme suyu için kılavuz değerleri 152

Çizelge 8.4. Tam otomatik bir su filtresine ait tasarım şartnamesi 153

Çizelge 8.5. Mekanik filtre müşteri ihtiyaçlarına kalite evi uygulaması 155

Çizelge 8.6. TP çelişkilerinin TRIZ ile çözümü 157

Çizelge 8.7. Çelişkileri çözecek yaratıcı problem tanımları veya çözümleri 158

Çizelge 8.8. Mekanik filtre çözüm seçeneklerini seçim kartıyla değerlendirme 166

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 8.9. Mekanik filtre çözüm seçeneklerini ayrıntılı değerlendirme 171

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Cross'un tasarım işlem modeli 8

Şekil 2.2. French'in tasarım işlem modeli 9

Şekil 2.3. VDI 2221 tasarım işlem modeli 10

Şekil 2.4. Tasarım işlem basamakları 12

Şekil 3.1. Tüm fonksiyon yapısı 35

Şekil 3.2. Varyatöre ait bir fonksiyon yapısı 36

Şekil 3.3. Çv2, Çv3 ve Çv5'e ait seçeneklerin şematik olarak gösterilmesi 40

Şekil 3.4. Çv4 çözüm seçeneğine ait şematik gösterim 40

Şekil 3.5. Varyatör seçeneklerini değerlendirmek için örnek bir amaçlar ağacı 42

Şekil 3.6. Değer-profil diyagramı 44

Şekil 4.1. Genel bir kalite evi yapısı 50

Şekil 4.2. Su filtre tasarımı için örnek bir kalite evi uygulaması 52

Şekil 4.3. Mükemmel çözüme ulaşma işlemi 58

Şekil 4.4. Madde-alan modelinde kullanılan standart semboller 60

Şekil 4.5. Madde-alan analizi ile problem modeli oluşturma ve çözümü 62

Şekil 4.6. Çelişki matrisi 67

Şekil 4.7. TRIZ prensiplerine dayalı basit bir anten tasarımı 68

Şekil 5.1. KT basamakları ve uygulanabilecek TRIZ yöntemleri 72

Şekil 5.2. Örnek bir delgeç 75

Şekil 5.3. Delgeç için tasarım şartnamesi 77

Şekil 5.4. Pratik problem bulma çizelgesine göre problem belirleme 78

Şekil 5.5. Delgeçe ait problemlerin ilişki matrisi 79

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.6. 1-2 problem çelişkisinin çelişki matrisi ile çözümü 81

Şekil 5.7. Delgeç için ayrıntılı fonksiyon yapısı 82

Şekil 5.8. Delgeç alt fonksiyonlarına bulunan TRIZ çözümleri 83

Şekil 5.9. Delgeçe ait örnek çözüm seçeneğine ait katı model 85

Şekil 5.10. Delgeç sistemine ait çözümlerin ayrıntılı gösterimi 87

Şekil 5.11. Delgeç sisteminin maksimum kapasitede çalışma hali 88

Şekil 6.1. SysML v1.2 diyagram türleri 92

Şekil 6.2. SysML 1.0 ile UML 2.0'ın karşılaştırılması 93

Şekil 6.3. MOKA informal model yapısı 96

Şekil 6.4. Bir MOKA informal model örneği 96

Şekil 6.5. MOKA metodolojisinin formal modeli 97

Şekil 6.6. Çekirdek Ürün Modeline ait sınıf diyagramı 99

Şekil 6.7. Planet Dişli Sistemi 100

Şekil 6.8. Planet dişli sistemi için örnek CPM diyagramı 100

Şekil 6.9. Planet dişli sistemini temsil eden bir XML yapısı 101

Şekil 6.10. Ürün ihtiyacının örnek XML temsili 102

Şekil 7.1. Zincirli varyatör 105

Şekil 7.2. Paket diyagramı ile varyatör için "Kullanıcı Model" yapısı oluşturma .. 107

Şekil 7.3. Modellemede kullanılabilecek genel değer türleri ve birimleri 107

Şekil 7.4. Paket ve Bakış kullanarak "Kullanıcı Model" yapısı oluşturma 108

Şekil 7.5. Kullanım Senaryo diyagramı ile varyatör sistemini gösterme 110

Şekil 7.6. "Hız ve güç girdisi sağla" Kullanım senaryosu için sıralama diyagramı 111

Şekil 7.7. "Hız ve güç girdisi sağla" ile ilişkili durum çalışma diyagramı 111

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.8. Varyatöre ait ihtiyaç diyagramı 113

Şekil 7.9. Bağlam diyagramı ile varyatör kapsamını oluşturma 115

Şekil 7.10. Varyatör alanının blok tanım diyagramı ile gösterilmesi 116

Şekil 7.11. Varyatöre ait alt sistemleri blok tanım diyagramı ile gösterme 117

Şekil 7.12. Varyatör iç yapısının iç blok diyagramı ile gösterilmesi 117

Şekil 7.13. Hız Kontrol Alt sistem yapısını blok tanım diyagramı ile gösterme 118

Şekil 7.14. Hız kontrol alt sistem iç yapısını iç blok diyagramı ile gösterme..... 118

Şekil 7.15. Akış şartnamesinin blok tanım diyagramında gösterimi 119

Şekil 7.16. Hız kontrol ünitesine ait sınırlandırma bloklarını belirleme..... 120

Şekil 7.17. Varyatör mühendislik geliştirmesi için gerekli analizler 121

Şekil 7.18. Matematiksel analiz modelinin parametrik diyagram ile gösterimi 122

Şekil 7.19. Hız değiştirme modelini parametrik diyagramda gösterme..... 122

Şekil 7.20. Hız değiştirme blokuna ait parametrelerin gösterimi..... 123

Şekil 7.21. “Hız değiştir” fonksiyonunun davranış modeli 124

Şekil 7.22. “Varyatör iletim oranını değiştir” davranışına ait iç yapı..... 124

Şekil 7.23. “Hız değiştir” fonksiyonunu bileşenlere ayırma..... 125

Şekil 7.24. “Varyatör iletim oranını değiştir” davranışının kulvar dağıtımı..... 126

Şekil 8.1. Geliştirilen yeni KT işlem modelinin akış şeması 129

Şekil 8.2. Avrupa ülkelerindeki su sıkıntısı indeksi..... 138

Şekil 8.3. Çeşitli geçici tutucular 142

Şekil 8.4. Y-biçimli ve boşaltma delikli kalıcı tutucu..... 143

Şekil 8.5. Kum-çakıl oluşumu geleneksel bir filtre sistemi 143

Şekil 8.6. Sudaki kirler ve kullanılacak filtreleme sistemleri 145

Şekil **Sayfa**

Şekil 8.7. Filternox firmasına ait bir mekanik filtre modeli..... 149

Şekil 8.8. AMIAD firmasına ait bir mekanik filtre modeli..... 150

Şekil 8.9. VAF firmasına ait bir mekanik filtre modeli 151

Şekil 8.10. Tasarım parametreleri arasındaki ilişkiler 156

Şekil 8.11. Mekanik filtre kapsam diyagramı 159

Şekil 8.12. Mekanik filtreye ait üst seviye kullanım senaryoları..... 160

Şekil 8.13. Mekanik filtreye ait tüm fonksiyon yapısı..... 161

Şekil 8.14. Mekanik filtre için ayrıntılı fonksiyon yapısı 161

Şekil 8.15. Birden fazla TRIZ çözümüyle özgün tasarım örneği..... 162

Şekil 8.16. Mekanik filtre alt fonksiyonlarına çözümler-1 163

Şekil 8.17. Mekanik filtre alt fonksiyonlarına çözümler-detaylı 164

Şekil 8.18. Mekanik filtre alt fonksiyonlarına çözümler-elenmiş çözümler..... 165

Şekil 8.19. Mekanik filtre tasarımı 1. çözüm seçeneği 168

Şekil 8.20. Mekanik filtre tasarımı 2. çözüm seçeneği 169

Şekil 8.21. Mekanik filtre tasarımı 3. çözüm seçeneği 170

Şekil 8.22. 2. çözüm seçeneğindeki problemin madde-alan analizi 172

Şekil 8.23. Madde-alan analizi uygulanmış problemli bölgenin son hali..... 173

Şekil 8.24. İyileştirilmiş mekanik filtre çözümü..... 173

Şekil 8.25. İhtiyaçları ihtiyaç diyagramı ile modelleme 176

Şekil 8.26. Tasarım parametrelerini ihtiyaç diyagramı ile modelleme 177

Şekil 8.27. Parametre çelişkilerini ihtiyaç diyagramı ile modelleme 178

Şekil 8.28. Problem tanımlarını ihtiyaç diyagramı ile modelleme..... 179

Şekil 8.29. Alt fonksiyonları blok diyagramı ile modelleme..... 180

Şekil **Sayfa**

Şekil 8.30. Kesin çözüm seçeneğini blok diyagramı ile modelleme..... 181

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile aşağıdaki sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
E	Enerji
E_{ELK}	Elektrik enerjisi
E_{MEK}	Mekanik enerji
$E_{MEK\text{-}DAİRESEL}$	Dairesel mekanik enerji
$E_{MEK\text{-}DOĞRUSAL}$	Doğrusal mekanik enerji
$E_{HİDROLİK}$	Hidrolik enerji
S	Sinyal
S_{ELK}	Elektrik sinyali
M	Malzeme
$M_{atık}$	Atık malzeme

Kısaltmalar	**Açıklama**
KT	Kavramsal Tasarım
UML	Birleşik Modelleme Dili
SysML	Sistem Modelleme Dili
TRIZ	Yaratıcı Problem Çözme Teorisi
ARIZ	Yaratıcı Problem Çözme Algoritması
QFD	Kalite Fonksiyon Yayılımı
HOQ	Kalite Evi
FB	Fonksiyonel Temeller
CAx	Bilgisayar Destekli Teknolojiler
XML	Genişletilebilir İşaretleme Dili

1. GİRİŞ

Tüm bilimsel veya teknolojik araştırma ve buluşların ortak amacı, insanlığa daha iyi bir gelecek sunmaktır. Bu amaçların gerçekleşmesinde tasarım çok kritik bir yer ve öneme sahiptir. Tasarım, birçok bilim dalı veya disiplinin bir arada uygulandığı yaratıcı bir faaliyet alanı olup faydalı mamul geliştirmeye çalışır. Makine, elektronik, mimari, mobilya, kimya vb. gibi birçok farklı disiplin veya alanda tasarım uygulamaları görmek mümkündür. Sadece makine tasarımını ele alırsak; otomotivden iş ya da tarım makinelerine, uçak parçalarından uzay araçlarına, robotlardan bilgisayar parçalarına kadar değişen çok geniş bir uygulama yelpazesini kapsar. Yani, makinecilik alanı veya tasarımı diğer tüm alan veya teknolojiler üzerinde çok önemli bir yere sahiptir. Bir başka ifade ile tasarım, "fonksiyonel uzayda tanımlanan ihtiyaçları fiziki çözüm uzayında optimum karşılamak amacı ile yürütülen tüm faaliyetler" olarak tanımlanabilir. Ayrıca tasarım, dört farklı çeşide de ayrılabilir [Börklü, 1995]:

1. Özgün (orijinal) tasarımlar; aynı, benzer veya yeni bir amaçla orijinal bir çözüm prensibi uygulamayı içerir. Burada oldukça fazla yenilik ve yaratıcılık gerekir.
2. Taklit (adapte) tasarımlar; daha önce bilinen bir çözümü yeni bir tasarıma adapte etmeyi kapsar.
3. Geçiş tasarımları; gerekli bazı düzeltme veya iyileştirmelerle mevcut bir ürünün geliştirilmesidir.
4. Değişken (büyültülebilir) tasarımlar; fonksiyon veya çözüm prensibi aynı kalmak koşulu ile sistemin boyut veya oluşumunu değiştirmeyi içerir.

Burada dört farklı tasarım çeşidinden bahsedilmekle birlikte bunların kesin sınırları her zaman tayin edilemeyebilir. Gerçekte her tasarım, soyuttan somuta döngüsel ve gittikçe ayrıntılaşan bir şekilde değişir ve gelişir.

Yaklaşık yarım asırlık bir zaman dilimi öncesine kadar tasarım, bir mühendislik biliminden çok sanat dalı olarak algılanıyor ve kabul ediliyordu. Buna karşın tasarımı bilimsel açıdan inceleyen çalışmalar 1850'lerde başlamıştır [Birkhofer 2011].

Genellikle bilimsel tasarım çalışmaları; tasarım metodolojileri, teorileri veya işlem modelleri olarak adlandırılmıştır. Cross [2008] bu çalışmaları tasarım işlem modelleri adı altında incelemiştir. Bugüne kadar iyi bilinen tasarım işlem modellerine şu referans çalışmalar örnek verilebilir: [Hubka, 1974], [Pahl ve Beitz, 1977], [Cross, 1984] ve [Ullman, 2002]. Tasarım işlem modelleri ürün geliştirme faaliyetinde tasarımcılara destek sağlamak amacıyla planlı bir şekilde yürütülen çeşitli yöntem ve tekniklerin birlikte kullanılmasıyla oluşturulmuştur. Bunlardan etkisini halen sürdürmekte olan, dünya çapında kabul edilen ve tasarım çalışmalarında en çok atıf alan tasarım işlem modeli, Pahl ve Beitz'in Sistematik Tasarım yaklaşımıdır [Xu, 2005]. Bunun sebebi bu yaklaşımın akademik ve pratikten (endüstri uygulamalarından) çıkarılan yöntem ve tekniklerden oluşması, sistematik bir yol izlemesi ve daha kapsamlı olmasıdır. Bu yaklaşım dört ana aşamadan oluşmaktadır [Pahl ve ark., 2007]:

1. Amacın netleştirilmesi**:** iyi bir tasarım problem tanımının (ihtiyaç listesi veya tasarım şartnamesi) yapılabilmesi için gerekli tüm bilgilerin derlenmesi,
2. Kavramsal tasarım**:** bazı farklı tasarım çözüm kavramları (tasarım alternatifleri) oluşturma ve aralarından bir veya birkaçının seçilmesi,
3. Şekillendirme tasarımı: seçilen çözüm kavramlarının geliştirilmesi, tasarım oluşum ve ön imalat işlemlerinin belirlenmesi,
4. Ayrıntılı tasarım: geometrik şekil, boyutlar, yüzey pürüzlülüğü, toleranslar ve parçaların diğer imalat özellikleri ile birlikte genel montaj yapısının belirlenmesi.

Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT), tasarım işlem modelinin bilgisayar yardımıyla uygulanmasıdır. Geliştirilen BDT yazılımları tasarımcıya ürün geliştirme sürecinde destek sunmayı amaçlamaktadır. Burada tasarımcı, bilgi ve yaratıcılık sağlamakta ve tasarım işlemini kontrol etmektedir. Bilgisayar ise; değiştirilebilir grafik oluşturma, kompleks tasarımları çabuk analiz etme ve veri depolama veya geri getirme gibi yollarla tasarım işlemini verimli kılmaktadır. Böylece bir BDT sistemi en iyi mamulü, daha ucuz ve hızlı geliştirmek için tasarımcı ve bilgisayarların üstün özelliklerini birleştirmektedir. Benzer bir açıdan KBE (Bilgi Tabanlı Mühendislik) sistemleri ile de ürün tasarım sürecinde tasarım bilgilerini arşivleme ve yeniden

kullanma işlemleri desteklenmektedir. Günümüzde KBE-BDT bütünleşmesi üzerine büyük ilerlemeler sağlanmıştır.

Mevcut BDT ve KBE sistemleri, ürün geliştirme işlemlerinde devrim yaratmış ve bu teknolojiyi oldukça ileri taşımıştır. Ancak bu sistemler artan ürün karmaşıklığına karşı yetersiz kalmaya başlamıştır. Bu duruma sebep olarak bu sistemlerin daha ziyade amacın netleştirilmesi, şekillendirme ve ayrıntılı tasarıma yönelik geliştirilmesi ve kavramsal tasarımı yeterli düzeyde uygulayamaması gösterilebilir [Cascini ve ark., 2009]. Bu yetersizlikler, tasarımcı, araştırmacı ve program geliştiricileri parça modelleme, analiz ve simülasyonun yanı sıra sistem modelleme, kavramsal tasarım ve ürün yaşam döngüsü üzerinde çalışmaya yönlendirmiştir.

Öte yandan yeni nesil tasarım işlem modelleri amaçlı pek çok akademik çalışma yürütülmektedir. Bu çalışmalar sonucunda şuana kadar geliştirilen tasarım işlem modellerinin çeşitli sebeplerden dolayı endüstride daha az kabul gördüğü ortaya çıkmıştır [Tomiyama ve ark., 2009; Badke-Schaub ve ark., 2011]. Sebeplerin başında tasarım sürecinin uzun zaman alması, kolay uygulanmaması ve anlaşılmaması gelmektedir [Badke-Schaub ve ark., 2011]. Bu olumsuzlukların çoğunluğu kavramsal tasarım (KT) kaynaklı olmaktadır. Çünkü KT'de problem belirleme ve çözüm bulma/geliştirme amaçlı çok sayıda soyut ve zaman alıcı yöntem kullanılmaktadır.

Tasarım işlem modellerinin endüstri çevresinde geniş çapta kabul görecek yönde geliştirilme ve bunların BDT ve KBE sistemleri ile etkin şekilde desteklenme ihtiyacı, KT sürecini daha önemli hale getirmiştir. KT işleminin önemi tasarım otoritelerince de kabul edilmektedir [Cascini ve ark., 2009]. KT, ürün tasarım sürecinin en kritik aşamasıdır [Tan ve ark., 2009]. Çünkü ürün maliyetinin yaklaşık %80'i bu aşamada belirlenmektedir [Pahl ve ark., 2007; Chong ve ark., 2009; Li ve ark., 2010]. Buna ek olarak He ve Feng [2013] KT aşamasını, bir bilgi yoğun işlem olarak tanımlamış ve bu aşamanın ürün inovasyonu üzerinde doğrudan bir etkisi olduğunu vurgulamıştır. Dolayısıyla KT aşamasını geliştirirken çağın önemli bir gereksinimi olan yenilikçi (innovative) yaklaşımları da dikkate almak gerekmektedir.

Yukarıda bahsedilen KT kaynaklı sorunlar doğrultusunda KT süreci çeşitli açılardan geliştirilmeye ihtiyaç duymaktadır. Bunlar: bilgisayar destekli sistemlerle uyumluluk, kısa tasarım zamanı, kolay tasarım işlemi, tasarım bilgilerinin temsili, müşteri merkezlilik, disiplinler arası çalışma, açık kaynak sistem, güçlü problem uzayı, insan doğasına yatkınlık, yaratıcı düşünme ve yenilikçi çözümler gibi ifade edilebilir [Goel ve ark., 2011; Krish, 2011]. Bu açılar iki ana konu üzerinde toplanabilir. Bunlardan ilki, tasarımda yaratıcı problem çözme yöntemlerinden maksimum düzeyde faydalanma; ikincisi ise tasarım bilgi ve işlemlerini çok disiplinli ortama uygun şekilde temsil etmedir [Cascini ve ark., 2009].

1.1. Tezin Amacı

Bu tezin amacı, yaratıcı problem çözme ve tasarım temsil yöntemlerinden faydalanarak yeni nesil, karma bir KT işlem modeli geliştirmektir. Yeni KT işlem modeliyle şu sonuçlar hedeflenmiştir:

- Yaratıcı problem çözme yöntemleriyle kısa tasarım süresinde daha kaliteli, yenilikçi çözümlere ulaşmak,
- Tasarım temsil yöntemleriyle farklı disiplinlerin çalışmasına ortam sunmak, tasarım bilgilerinin yeniden etkin kullanımı ve
- Bu iki yöntemi birlikte kullanarak daha kolay uygulanabilen, esnek, müşteri merkezli bir KT süreci oluşturmak.

Tez kapsamında; yaratıcı problem çözme yöntemlerinden TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi) ve QFD (Kalite Fonksiyon Yayılımı) seçilmiştir. Tasarım temsil yöntemi olarak SysML (Sistem Modelleme Dili) kullanılmıştır. Bu yöntemlere zemin teşkil eden genel tasarım işlem modeli ise Pahl ve Beitz'in Sistematik Tasarım Yaklaşımıdır.

1.2. Araştırma Yöntemi ve İşlem

Tezin araştırma yöntemi; kullanılan veya geliştirilen teori, yöntem veya modellerin örnek tasarım çalışmalarıyla desteklenmesine dayanmaktadır. Özellikle soyut ve kesin olmayan kavramlara dayanan bilimsel çalışmalarda geçerlilik ve güvenilirlik örnek uygulama çalışmalarıyla sağlanmaktadır.

Tez amaç ve kapsamı doğrultusunda takip edilecek işlem şöyledir:

1. Pahl ve Beitz'in tasarım işlem modeliyle diğer bazı modeller arasında bir karşılaştırma yaparak niçin bu tasarım işlem modelinin seçildiğinin açıklanması
2. Güncel KT araştırmaları genellikle hangi yönlere eğilim gösterdikleri ve ne tür eksikleri olduğunun incelenmesi
3. Tasarımda kullanılabilecek güncel problem çözme yöntemlerinden en az beşi incelenecek ve bunlardan niçin TRIZ ve QFD seçildiği karşılaştırma ile açıklanması
4. KT'nin hangi aşamalarında TRIZ kullanılabileceğinin araştırılması ve geliştirilecek KT-TRIZ yaklaşımının örnek bir tasarım ile uygulanması
5. Güncel tasarım temsil yöntemlerinden en az dördü incelenecek ve bunlardan niçin SysML seçildiğinin karşılaştırma ile açıklanması
6. KT bilgileri ve işleminin, SysML ile nasıl modelleneceğinin en az iki farklı tasarım uygulaması ile gösterilmesi
7. TRIZ, QFD ve SysML'ye dayanan karma bir KT işlem modelinin geliştirilmesi ve bu modelin kapsamlı bir tasarıma uygulanması

1.3. Tezin Organizasyonu

Tez organizasyonu yapılırken işleme göre gelişimsel bir sıra takip edilmiştir. 2. Bölümde bilinen tasarım işlem modellerinden bazıları ile Sistematik Tasarım yaklaşımın karşılaştırılması yapılmış ve arkasından KT hakkında güncel araştırmalar yorumlanmıştır. 3. Bölümde Pahl ve Beitz'in KT süreci tanıtılmıştır. 4. Bölümde beş problem çözme yöntemi (TRIZ, QFD, sinektik, zihin haritalama ve SIT/ASIT/USIT)

karşılaştırılmış ve bunlardan niçin TRIZ ve QFD seçildiği açıklanmıştır. 5. Bölümde KT'de TRIZ kullanımına yönelik yeni bir yöntem geliştirilmiş ve bir tasarım örneği ile uygulanmıştır. 6. Bölümde güncel tasarım temsil yöntemlerinden olan UML, SysML, MOKA ve CPM karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. 7. Bölümde bir varyatörün KT bilgileri SysML diyagramları ile modellenmiştir. 8. Bölümde ise TRIZ, QFD ve SysML'nin birlikte kullanıldığı karma bir KT işlem modeli (tez kapsamında geliştirilen) hakkında bilgiler verilmiş ve bu model kapsamlı bir tasarım örneği (endüstriyel su filtresi) ile uygulanmıştır. Ayrıca Ekler kısmında iki ana başlıkta bilgiler verilmiştir. Bunlardan ilki, tez kapsamında kullanılan 40 prensibin örneklerle detaylı açıklaması, diğeri ise bir kroki kavramsal tasarım bilgilerinin SysML diyagramları ile modellenmesidir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Tasarım İşlem Modelleri

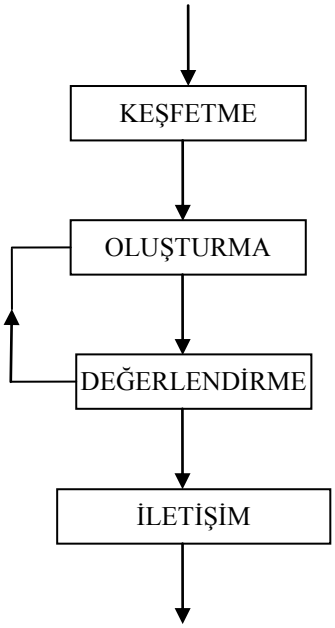
Tasarım işlem modelleri tasarım faaliyetlerini etkin bir şekilde yönetmede tasarımcıya destek sağlama amacıyla geliştirilmiştir. Bazı kaynaklarda tasarım metodolojileri olarak ta geçmektedir. Tasarım işlem modelleri hakkındaki ilk çalışmalar Almanya, İngiltere, Amerika, Japonya, Rusya gibi gelişmiş ülkelerde 1852 ile 1961 yılları arasında başlamıştır [Birkhofer, 2011]. Bugüne kadar pek çok tasarım işlem modeli geliştirilmiştir. Bu bölümde en çok bilinen tasarım işlem modellerinden bazıları özetlenecek ve eksik veya güçlü yönleri tartışılacaktır.

2.1.1. Cross'un tasarım işlem modeli

Cross'un tasarım işlem modeli dört adımdan oluşmaktadır (Şekil 2.1). Bunlar; keşfetme, oluşturma, değerlendirme ve iletişim adımlarıdır. Bunlar kısaca şöyle açıklanabilir:

1. Keşfetme: Problem tanımları yapılır ve bunlardan zayıf olanları güçlendirilir.
2. Oluşturma: Problemlere çeşitli çözümler araştırılır. Genelde çözümler, kataloglar ve önceki deneyimlerden bulunur.
3. Değerlendirme: Tasarım amaç, ölçüt ve sınırlılıklarına göre çözümler değerlendirilir. Kesin bir çözüme karar verilir.
4. İletişim: Kesin çözümün resimleri imalat öncesi çizilir. Gerektiğinde karmaşık ve az bilinen çözümlerin 3D katı temsili oluşturulur. Burada tasarımın imalatçıya en iyi şekilde anlatımı amaçlanır.

Bulunan çözüm yeterli olmadığında yeni çözümler oluşturulur ve tekrar değerlendirilir. Bu döngü tatmin edici çözümler elde edilinceye kadar devam eder.



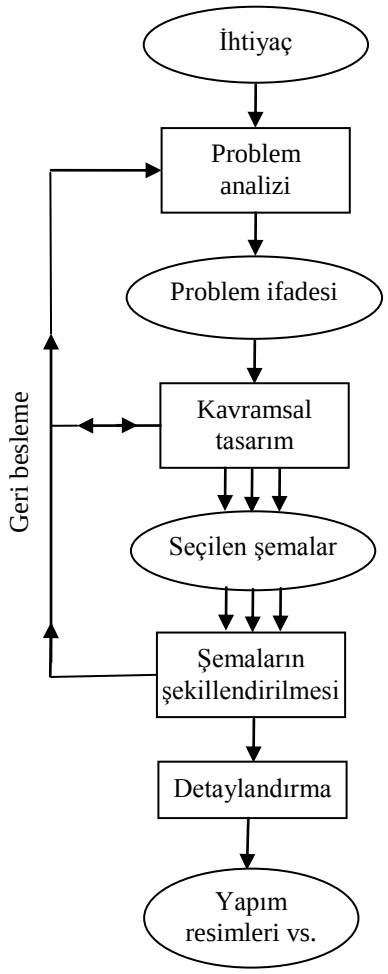
Şekil 2.1. Cross'un tasarım işlem modeli [Cross, 2008]

2.1.2. French'in tasarım işlem modeli

French'in işlem modeli; problem analizi, kavramsal tasarım, şematik şekillendirme ve detaylandırma olmak üzere dört aşamadan oluşur (Şekil 2.2). Şekildeki elipsler, elde edilen çıktıyı, dikdörtgenler ise faaliyetleri temsil eder. French, buradaki en önemli aşamanın problem analizi olduğunu belirtir. Çünkü yapılacak görev ve bu görevden çıkarılan müşteri ve mühendislik ihtiyaçları, burada belirlenmektedir. Müşteri ve mühendislik ihtiyaçları daha sonra değerlendirme adımında kullanılacaktır. Diğer üç aşamanın içeriği ise aşağıda verilmiştir.

- Kavramsal tasarım: Problem ifadesiyle başlar ve pek çok çözüm üretilir. Geliştirmelerin en kapsamlı olduğu yerdir. Burada mühendislik bilimi, pratik bilgi, üretim yöntemleri ve ticari amaçlar bir araya getirilir, en önemli kararlar verilir.
- Şemaları şekillendirme: Bu aşamada detaylı şema çalışması yapılır. Şema sayısı birden fazla ise onlar arasında son bir tercih yapılır. Şema istenilen seviyeye ulaşmadıysa kavramsal tasarım aşamasına geri dönülür. Bu döngü şema tasarımı gelişinceye kadar devam eder.

- Detaylandırma: Tasarım kalitesini artırmak, hataları en aza indirmek ve diğer tüm detayları geliştirmek amaçlanır.

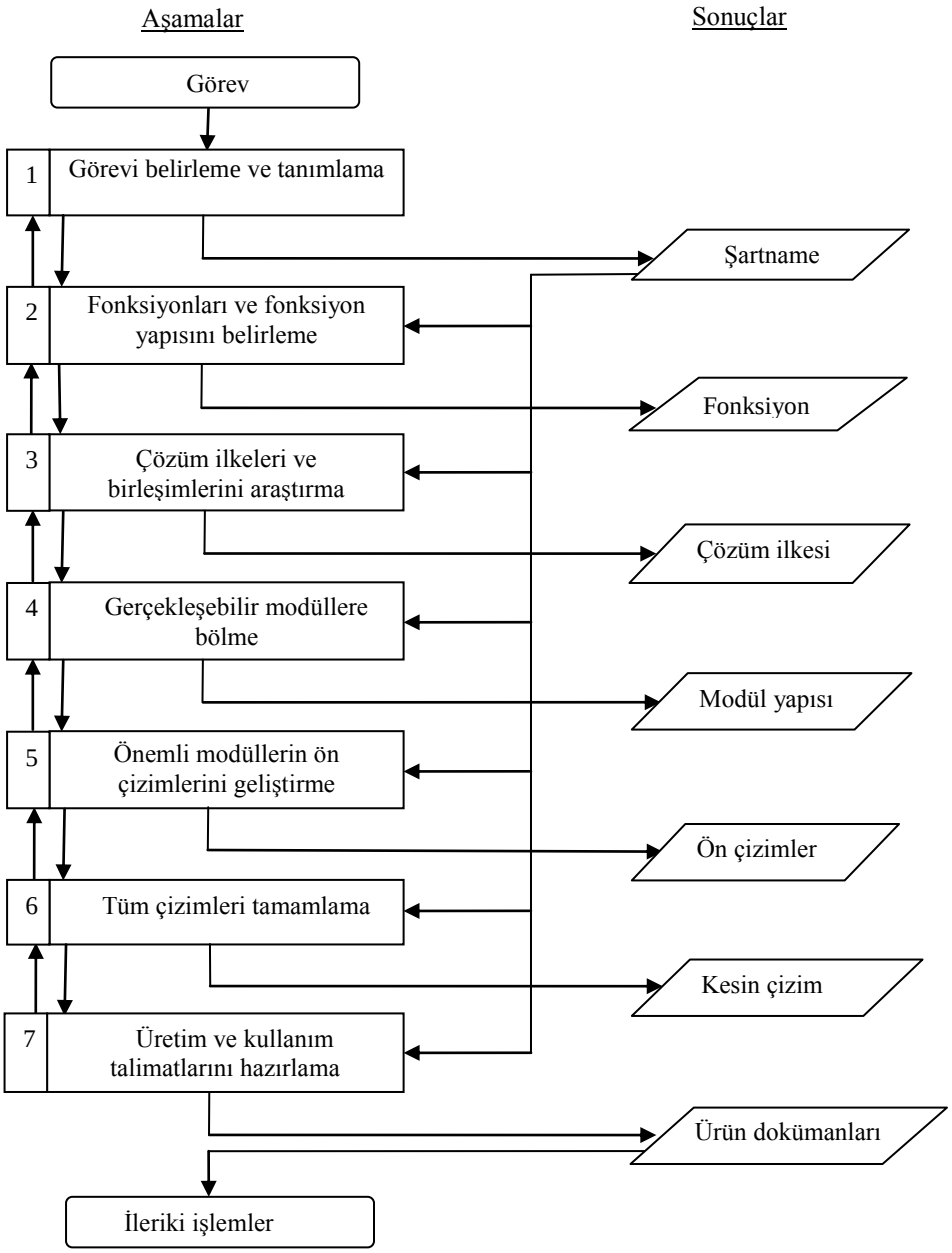


Şekil 2.2**.** French'in tasarım işlem modeli [French, 1985]

2.1.3. VDI 2221 tasarım işlem modeli

VDI 2221, Alman Mühendisler Odası tarafından yayınlanan bir kılavuzdur [VDI 2221, 1993]. Bu kılavuz ürün geliştirme sürecinde kullanılabilecek bir tasarım işlem modelini içerir (Şekil 2.3). VDI 2221, ürün geliştirme sürecine sistematik açıdan yaklaşmaktadır. Şekil 2.3 incelendiğinde; bu model yedi aşama ve çıktıdan oluşmaktadır. İlk aşama, görevin netleştirilmesi ve tanımlanmasıyla başlar. Bu aşamanın çıktısı, müşteri ve mühendislik ihtiyaçlarının yer aldığı tasarım şartnamesidir. Arkasından şartnameye uygun fonksiyonlar oluşturulur ve bunların

uygun birleşimleriyle fonksiyon yapıları belirlenir. Daha sonra fonksiyon yapılarına çözüm ilkeleri ve birleşimleri araştırılır. Sonraki aşamalarda çözüm ilkelerine uygun modül yapıları geliştirilir, ön çizimleri yapılır ve kesinleştirilen çözüm yapısının kesin çizimleri ve üretim dokümanları hazırlanır.



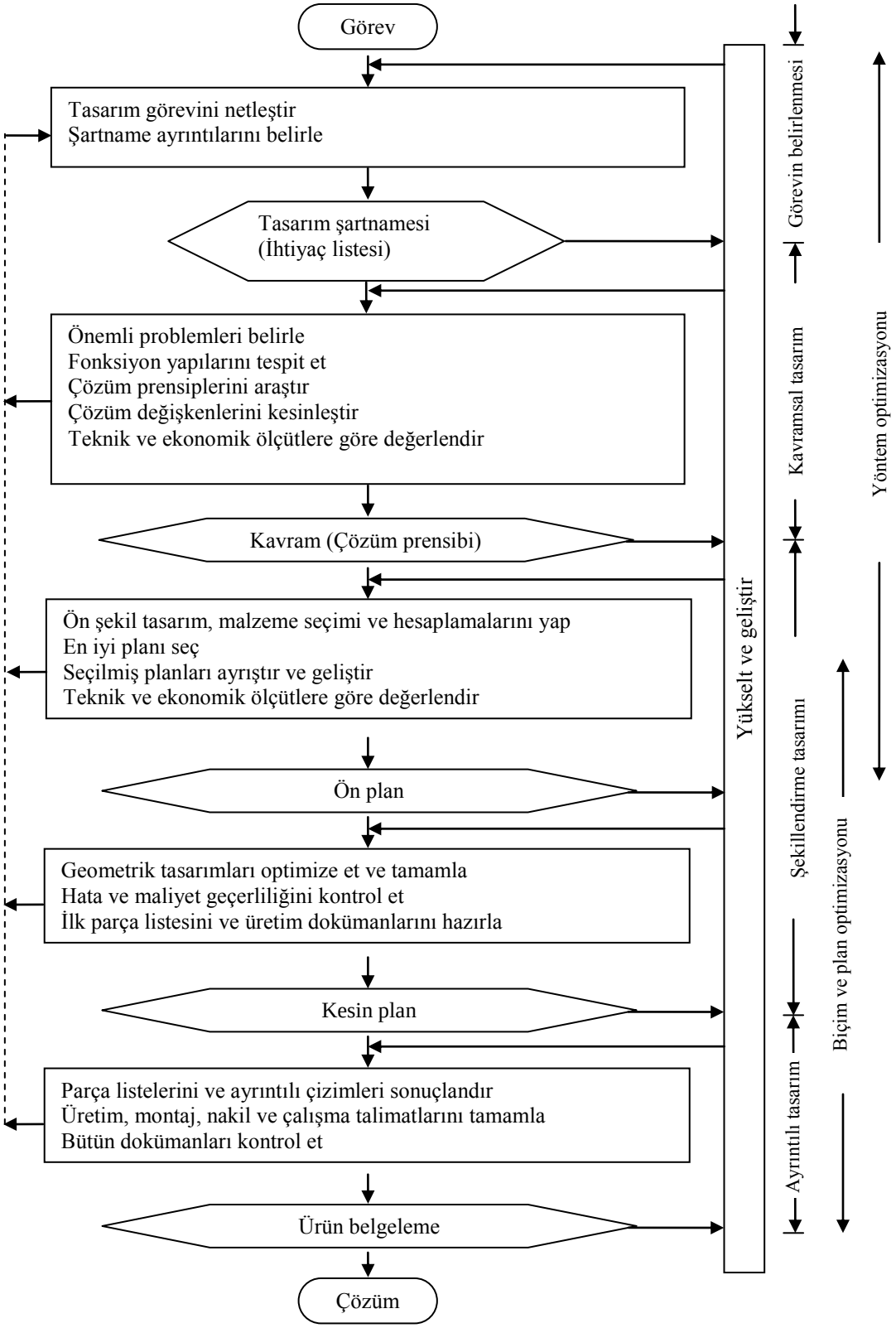
Şekil 2.3. VDI 2221 tasarım işlem modeli [VDI 2221, 1993]

2.1.4. Pahl ve Beitz'in sistematik tasarım yaklaşımı

Pahl ve Beitz, mühendislik tasarımı için sistematik bir yaklaşım (veya kapsamlı bir tasarım işlem modeli) geliştirmiştir [Pahl ve ark., 2007]. 'Sistematik Tasarım Yaklaşımı', tasarımı bilimsel temeller ve izlenmesi gereken bazı kurallara bağlar. Bir başka ifade ile algoritmik yollar kullanarak tasarım işlemini, salt sezgi veya kişi yetenekleri ve yaratıcılığından bağımsız sistematik teknikler kullanarak yapabilmeyi sağlar. Böylece alt ve orta düzey tasarımcılar tarafından dahi iyi tasarımlar elde edilebilmektedir. Bu avantaj, bir tasarımın fonksiyonel özelliklerini artırmanın yanı sıra daha yüksek dayanımda, daha basit, ucuz, hafif ve az malzeme israfı ile elde edilmesini sağlayacaktır. Yani, bilimsel temel ve belirlenmiş kurallara bağlı tasarım ile daha hızlı, kolay, ucuz, fonksiyonel ve optimum tasarımlar yapılabilecek ve kolayca değiştirilebilecektir. Tasarım kaynaklarında en çok atıfta bulunulan 'Sistematik Tasarım Yaklaşımı', şu dört ana aşamaya ayrılmaktadır [Pahl ve ark., 2007]:

1) Amacın netleştirilmesi: İyi bir tasarım problem tanımının (ihtiyaç listesi veya şartname) yapılabilmesi için gerekli tüm bilgilerin derlenmesi (zorunlu ve isteğe bağlı ihtiyaçlar, tasarım sınırlandırmaları vb. gibi) ve bu bilgileri içeren bir tasarım şartnamesinin hazırlanması,
2) Kavramsal tasarım: Tasarım şartnamesi kapsamında bazı farklı tasarım çözümlerinin (tasarım alternatifleri) oluşturulması, gerekirse bunlara ait kaba hesap ve çizimlerin yapılması, aralarından bir veya birkaçının seçilmesi,
3) Şekillendirme tasarımı: Seçilen çözüm kavramına uygun alternatif konstrüksiyon yapılarının geliştirilmesi, bu yapının çeşitli açılardan (fonksiyon, boyutsal uygunluk, finansal uygulanabilirlik, dayanım, basitlik, açıklık ve emniyet) kontrol edilmesi, imalat işlemlerinin belirlenmesi,
4) Ayrıntılı tasarım: Geometrik şekil, boyutlar, yüzey pürüzlülüğü, toleranslar ve parçalara ait diğer imalat özelliklerle birlikte genel montaj yapısının belirlenmesi, maliyet tahminlerinin yapılması.

Yukarıda özetlenen tasarım işlemi akış şeması, Şekil 2.4'de gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Tasarım işlem basamakları [Pahl ve ark., 2007]

Buraya kadar, dört tasarım işlemi hakkında özet bilgiler verilmiştir. Bunlardan en çok bilinen tasarım işlem modeli Pahl ve Beitz'e ait Sistematik Tasarım yaklaşımıdır [Tomiyama ve ark., 2009]. Bu modelin diğerlerine göre avantajları şunlardır:

- Tasarım sürecini kapsamlı ve sistematik şekilde ele alması
- Özel tasarım yöntem ve tekniklerini modele dahil edebilmesi
- Endüstrideki tasarım faaliyetlerini esas alması
- Tasarım problemini detaylı analiz ve böylece problemi daha iyi anlama imkanı sunması
- Geniş çözüm uzayı sağlaması

Yukarıdaki önemli özellikler Sistematik Tasarım yaklaşımının niçin dünya çapında en çok kabul edilen ve atıf yapılan bir referans olduğunun önemli göstergelerindendir [Xu, 2005]. Buna karşın genel olarak tüm tasarım işlem modellerinin bazı eksik ya da geliştirilecek yanları bulunmaktadır. Bunlar:

- Çok fazla yöntem, teknik ve adım içerdiğinden tasarım sürecinin uzun zaman alması [Birkhofer, 2011],
- Soyut ve karmaşık bir yapıda olduğundan kavrama ve uygulama zorluğu [Badke-Schaub ve ark., 2011],
- Endüstride daha az kabul görmesi [Tomiyama ve ark., 2007],
- İşbirliğine dayalı veya müşterek tasarım [He ve Feng, 2012],
- Diğer disiplinlerle ve elektronik veri işleme araçlarıyla uyum [Birkhofer, 2011] olarak verilebilir.

Bu tez kapsamında takip edilecek tasarım işlem modeli olarak Pahl ve Beitz'in Sistematik Yaklaşımı esas alınmıştır.

2.2. Güncel Kavramsal Tasarım Araştırmaları

Son yıllarda KT alanında birçok araştırma yürütülmüştür. Bu çalışmaların çoğunluğu kavramsal tasarımda otomasyonu sağlamayı, yaratıcılık düzeyini artırmayı ve

işbirliğine dayalı çalışmayı amaçlamışlardır. Bu amaçlar doğrultusunda bilgisayar ortamına uygun çeşitli tasarım model, yaklaşım ve teoriler geliştirilmiştir. Tez kapsamında güncel KT çalışmalarından önemli yirmi ikisi seçilmişve incelenmiştir. Bunlar, önemli KT adımları kısmi ve çoğunu destekleyenler olarak iki grupta ele alınmış ve tasnif edilmişlerdir.

2.2.1. Kavramsal tasarım işlemini önemli ölçüde içerenler

Doküman merkezli yöntemler genelde standart modeller ve dokümanlar üretmezler. Çünkü bu yöntemler standart temsil yerine çeşitli temsil ve teknikler kullanmaktadır. Diğer bir olumsuz durum ise, bu modellerin tekrar kullanımının zor olmasıdır. Shea ve ark. [2009], bu zorluğu gidermek için erken ürün geliştirme aşamaları için bir bilgisayar tabanlı model üzerinde çalışmışlar ve SysML kullanan bütünleşik bir ürün modeli önermişlerdir. Modelin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla bir otomobil bagajı tasarımı örnek çalışma olarak seçilmiştir. Araştırmacılar, bu çalışma sonunda mekanik kavramsal tasarımda formal modelleme için birçok SysML diyagram türünün uygun olduğunu iddia etmişlerdir. Ancak, önerilen modelde problem tanımlarının düşünülmemesi, tahsis (allocation) özelliğinin verimli kullanılmaması bu çalışmanın eksik yanlarıdır.

Spinella ve ark. [2009], tek parçalı biçim hafıza kumandasının kavramsal tasarımı ve simülasyonu üzerinde çalışmışlardır. Tasarım sürecinde QFD ile kalite yayılımı yapmışlardır. Ancak burada ihtiyaç listesi, problem tanımları, değerlendirme tablosu gibi ayrıntılara yer verilmemiştir.

Woldemichael ve ark. [2009], deniz altı donanımları için kavramsal tasarım destek sistemi/yazılımı geliştirmişlerdir. Bu sistem bilgi tabanlı sistemlerle bütünleşik sistematik bir yaklaşımı esas almıştır. Birçok kavramsal tasarım adımını içeren bu yazılımda; disiplinler arası çalışabilme, standart tasarım veri ihtiyacı vb. hususlar geliştirilmesi gereken başlıca konulardır.

Wilhelms [2005], bilgisayar destekli bir kavramsal tasarım modeli geliştirmiştir. Bu modelde XMI, UML gibi önemli temsil araçlarından faydalanılmıştır. Bu haliyle anılan model gelecek nesil CAD sistemlerine basit düzeyde bir temel oluşturabilir. Ancak karmaşık sistemlerde yeterlilik ve çözümlerin yaratıcılık seviyeleri bu araştırmada eksik ve irdelenmesi gereken bir konudur.

Christophe ve ark. [2010], tasarım metodolojilerinin kavramsal tasarım için güçlü bir bilgi modeli olan FBS modeliyle bütünleşmesini araştırmışlardır. Sonuç olarak bir İhtiyaç-Fonksiyon-Davranış-Yapı (RFBS) modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu model bilgisayarlı çalışmalarla desteklendiğinde kavramsal tasarıma uygunluğu daha açık ortaya çıkacaktır.

Li ve ark. [2010], ürün tasarımında çok aşamalı yeniliği desteklemek için bir KT işlemi önermiştir. Bu model, Aksiyometik Tasarım (AD) yaklaşımı, FBS modeli ve fonksiyonel analiz yaklaşımına dayanmaktadır. Önerilen model bilgisayar destekli KT sistemleri için kullanılabilir. Ancak bu sistemin uygulanabilirliğini onaylamak bilgisayar yardımıyla mümkün olabilecektir.

Tan ve ark. [2009], kavramsal tasarım işlemindeki fonksiyonlara çözüm arama sürecinde tasarımcıya destek amaçlı bir KT işlem modeli sunmuşlardır. Burada TRIZ tabanlı bilgisayar destekli yenilik yazılımından (CAIs) faydalanılmıştır. Bu model daha çok deneyimli mühendislere hitap etmektedir. Bu nedenle acemi mühendisler için detaylı veya formal bir modele ihtiyaç duyulacaktır.

2.2.2. Kavramsal tasarım işlemini kısmen içerenler

Buraya kadar, KT adımlarının genelini uygulayan ve destekleyen araçlar, yöntemler tartışılmıştır. Bunun yanında KT sürecinin verimini artıran ve KT adımlarını kısmi ölçüde destekleyen tasarım modelleri, fonksiyonel yaklaşımlar, karar destek ve çözüm iyileştirme sistemleri geliştirilmiştir. Bu tür konuları içeren çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiş ve tartışılmıştır.

Chong ve ark. [2009], KT sürecinde çözüm bulmaya yönelik sezgi tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşımın tasarımcıların iyi çözümler bulmasına önemli destek sağlayacağı ifade edilmektedir. Ancak bu matematiksel yaklaşımın kavramsal tasarımın diğer aşamalarına entegre olması ve nesnel veri yapılarına uyumlu hale getirilmesi araştırılması gereken konulardır.

Thakker ve ark. [2009], sistematik yöntem kullanarak ani etkili türbin tasarımı üzerinde çalışmıştır. Kullanılan sistematik yöntem Pugh'un kavram analizi ve geleneksel 3D CAD ortamının birlikte kullanımından oluşmaktadır. Bu yöntemle mevcut bir tasarımın iyileştirilmesi amaçlı yeterli sonuçlara ulaşılmıştır. Buna karşın aynı yöntem orijinal bir tasarımda yaratıcı çözümler elde etmek için uygulandığında yetersiz kalabilir. Bunun için önerilen yönteme ek olarak QFD, TRIZ gibi araçlar kullanılabilir.

Shin ve ark. [2011] kalite evine dayalı matematiksel bir karar destek yöntemi ortaya koymuşlardır. Bu yöntem ile ürün yaşam döngüsü boyunca gerekli tüm ihtiyaçlar (müşteri, yatırım vb.) tasarımda kullanılacak mühendislik parametreleriyle ilişkilendirilmiş ve böylece de kalite yayılımı sağlanmıştır. Bununla birlikte ortaya çıkan tasarım çıktılarının en uygun sonuç olduğu kesin olmayabilir. Çünkü önerilen yöntem varsayımlara dayanmakta ve fonksiyonlarla bağlantı kurulmamaktadır.

Kurtoğlu ve ark. [2010b] karmaşık sistemlerin KT sürecinde sonradan oluşabilecek fonksiyonel hataları muhakeme ederek çözüm seçeneklerini değerlendirme amaçlı yeni bir metodoloji geliştirmişlerdir. Araştırmacılara göre bu metodolojiyi kullanarak sistem riskleri sistematik bir şekilde analiz edilebilebilir ve verilecek kararların tüm sistem riski üzerideki etkileri belirlenebilir. Öte yandan geliştirilen metodolojide yer alan tasarım verileri SysML ile modellendiğinde özellikle karmaşık tasarımlarda daha verimli olabilecektir.

Malekly ve ark. [2010] kavramsal köprü tasarımı için bulanık bütünleşik bir metodoloji önermişlerdir. Önerilen metodolojide QFD ve bulanık küme teorisi birlikte kullanılmıştır. Yapılan köprü tasarımıyla bu metodolojinin uygulanabilirliği

gösterilmiştir. Ayrıca bu metodoloji diğer köprü tasarım projelerinde de özellikle karar destek sistemi olarak kullanılmıştır. Ancak geliştirilen metodolojinin alana özel tasarlanması ve fonksiyonel olmaması genel bir KT metodolojisi için düşünülmesi gereken hususlardır.

Camelo ve ark. [2010] KT sürecini desteklemek için FBS çerçevesine dayalı etkileşimli ve çok ilişkili bir sentez modeli sunmuşlardır. Önerilen model, tasarım bilgilerini birçok açıdan ve yeterli kapsamda derlemektedir. Ancak tasarım bilgilerinin dağıtımı ve yeniden kullanımında problemler ortaya çıkabilir. Bu durumu önlemek için UML veya SysML gibi modelleme dilleri kullanılabilir.

Zhang ve ark. [2010] ürün ve servis kavramsal tasarımını destekleyen bir tasarım yaklaşımı önermişlerdir. Bu yaklaşım müşteri ihtiyaçlarını mühendislik parametrelerine dönüştürmede QFD; ürün kavramı üzerindeki hata modlarını ve etkilerini analiz etmede FMEA yaklaşımlarından faydalanmıştır. Böylece hata analizi ve kalite yayılımı sağlanmış olur. Önerilen yaklaşımda QFD ve FMEA aşamalarında ortaya çıkan çelişkilerin çözülmesinde yaratıcı çözüm bulma teknikleri kullanılsa (TRIZ, ASIT, Sinektik vb. gibi) daha yaratıcı çözümlere ulaşılabilir.

Uflkacker ve ark. [2011] farklı aktör ve bilgi kaynaklarını organize eden işbirliğine dayalı takım ağları (TCN) tanıtmışlardır. Özellikle gelecek nesil CAD sistemleri için sıkça vurgulanan işbirliğine dayalı tasarım ihtiyacı, bu çalışmada büyük oranda giderilmeye çalışılmıştır. Bu yaklaşım UML, SysML gibi nesnel yaklaşımlarla desteklendiğinde esneklik, katılım konularında önemli ilerlemeler sağlanabilir.

Chang ve ark. [2008] KT aşamasında karmaşık ilişkileri kayıt altına alan ve düzenleyen, muhakemeyi destekleyen, heterojen veri yapılarını bütünleştiren ontoloji tabanlı bir yöntem tanıtmışlardır. Bu araştırmacılar; maliyet, imalat ihtiyaçları, müşteri ihtiyaçları gibi pek çok konunun bu sistemde yer alabileceğini ve böylece tasarımcıları sistematik bir tarzda düşündürmeye yardımcı olacağını ifade etmişlerdir. Geliştirilen bu yöntem kapsamlı bir yazılım ile desteklendiğinde tasarım katkıları daha açık ortaya çıkabilir.

Kurtoğlu ve ark. [2010a], yaratıcı kavramsal tasarım çözümleri bulma amacıyla kapalı kutu yazılım araçları geliştirmişlerdir. Birkaç sayısal yöntem içeren bu araçların gerçek tasarım problemlerine yeni alternatif çözümler üretebildiği ifade edilmiştir. Ancak sistemin kapalı olması tasarımcı ve diğer katılımcıların sisteme tam müdahale etmesine izin vermeyebilir. Bu çelişkiyi çözmek için açık kaynak kod mantığını taşıyan nesnel yönelimli diller kullanılabilir.

Malzeme genellikle erken aşamalar yerine ileri aşamalarda (şekillendirme ve ayrıntılı tasarım) dikkate alınmaktadır. Ancak bazı durumlarda örneğin paslanmaz bir malzeme istendiğinde bu tasarım sınırlandırması KT aşamasında dikkate alınmalıdır. Deng ve ark. [2009] bu konuda üç eşleştirme yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntemler esas olarak fonksiyon, davranış, yapı ve malzeme konularına dayanır. Bu yöntemlerin tasarımcılara manüel tasarım sentez sürecini yönetmede destek sunabileceği açıklanmıştır. Çalışmaya dikkat edildiğinde yapı ve davranış arasında eşleştirme yapılmıştır. Bu noktada tek parçalı olmayan çalışma yapılarıyla malzeme eşleştirmeleri problem oluşturabilir. Eşleştirme sadece tek parça yapılarda başarı sağlayabilir.

Shi ve ark. [2007] kavramsal tasarımda bilgiyi formal ve açık bir şekilde temsil etmek için ontoloji tabanlı fonksiyonel bilgi çerçevesi önermişlerdir. Bu çerçeveye göre fonksiyon tabanlı çözüm modeli geliştirmişler ve örnek tasarım modeli olarak mekanik bir el tasarımı yapmışlardır. Modele göre yapılan tasarımlarda yenilikçi çözümlerin elde edilebilmesi için yenilikçi çözüm bulma yaklaşımlarından (Altı sigma, TRIZ vb.) faydalanılabilir.

Malak ve ark. [2009] küme tabanlı tasarım yaklaşımıyla çok nitelikli fayda teorisini birleştirmiş ve KT'de değerlendirme aşaması için genel bir işlem geliştirmişlerdir. Geliştirilen işlemle belirsiz durumlarda bile karar vermede tasarımcılara kolaylık amaçlamışlardır. Ancak tam potansiyel fayda için yeni kavram modeline ve bilgisayar desteğine ihtiyacı olacaktır.

Ölvander ve ark. [2009] hava aracı kavramsal tasarımında morfolojik matris kullanan matematiksel bir çerçeve sunmuşlardır. Bu çerçeve ile belirli ölçütlere göre optimizasyon yapılabilir, somut sonuçlara ulaşılabilir. Buna rağmen müşteri ihtiyaçları ve bu ihtiyaçların mutlak önem dereceleri değerlendirme sürecine doğrudan bir etki sağlamamıştır. Dolayısıyla kalite yayılımı tam olarak gerçekleşmeyebilir.

Krish ve ark. [2011] ise CAD sistemi (SolidWorks) üzerinde çalışan Üretici Tasarım Yöntemini (GDM) tanıtmıştır. Bu yöntem geliştirilecek tasarımın bir genotipinin (ana örnek) önce CAD ortamında modellenmesiyle başlamaktadır. Sonrasında bu genotipin geometrik boyutları belirli aralıklarda (maksimum ve minimum) değiştirilerek çeşitli tasarım alternatifleri oluşturulur. Daha sonra tasarım alternatifleri geometrik ve diğer (maliyet, ağırlık gibi) ölçütlere göre filtrelenir ve en iyi çözümler bulunur. Bu sistem mevcut bir tasarımın basit ve somut düzeyde optimizasyonunda iyi sonuçlara ulaşabilir. Buna rağmen tam olarak geometrik ölçülere dayanmayan estetik, sıcaklık, basitlik gibi ihtiyaçları karşılamada ve sistem düzeyindeki tasarımları geliştirmede etkili bir destek sağlayamayabilir. Öte yandan orijinal tasarım faaliyetlerinde fonksiyonel analiz gerektiğinden parametrik tabanı yetersiz kalabilir.

Yukarıdaki paragraflarda birçok önemli güncel KT araştırması özetlenmiş ve tartışılmıştır. Burada amaç özellikle KT aşamalarını sağlayan ve yeni nesil CAD yazılımlarıyla uyumlu olabilecek araştırma çalışmalarını ve bunların alt yapılarını incelemektir. Böylece yeni nesil CAD yazılımlarıyla uyumlu olabilecek KT yaklaşımlarının temel özellikleri şöyle özetlenebilir [Goel ve ark. 2011, Krish 2011]:

- İşbirliğine dayalı (disiplinler arası),
- Yaratıcı çözümlere ulaşabilme,
- Açık kaynak sistem,
- Güçlü problem uzayı,
- Belirsiz kavram ve biçimlerin temsili,

- Tasarım verilerinin diğer aşamalara (şekillendirme ve ayrıntılı tasarım) verimli aktarımı,
- Müşteri gereksinimlerini tasarım süresince dikkate alma (kalite yayılımı).

Özetlenen tüm bu araştırmalar farklı bakış açılarından ve önemli başlıklara göre incelendiğinde Çizelge 2.1'deki karşılaştırma bilgileri elde edilebilir. Çizelgede her başlık, önemli bir soruyu cevaplayacak şekilde düşünülmüştür. Bunlar sırasıyla: Önerilen yaklaşım;

(1) Kavramsal tasarımın hangi aşamalarını destekler?
(2) Hangi özel araçları kullanır?
(3) Yeni nesil CAD yazılımlarıyla uyumlu mu?
(4) Bilgisayar ortamına uygun mu?

Çizelgede görüldüğü gibi yapılan çalışmalardan çok azı tüm KT aşamalarını ve yeni nesil CAD sistemlerini önemli ölçüde destekleyebilmektedir. Ancak henüz tam olarak bu amacı yerine getirecek KT yaklaşımı veya metodolojisi tespit edilmemiştir.

Çizelge 2.1. Günce KT çalışmalarını genel bir karşılaştırma

	KT destek oranı	**Özel araç(lar)**	**Yeni CAD uyumu**	**Bilgisayar ortamına uygunluk**
Spinella ve ark. [2009]	KT (çoğu adımı)	QFD, Sayısal Optimizasyon	Hayır	Evet
Woldemicheal ve ark. [2009]		KBE	Hayır	Evet
Wilhems [2005]		Yapı Blokları	Hayır	Evet
Christophe ve ark. [2010]		RFBS Ontolojisi, UML	Evet	Evet
Li ve ark. [2010]		FBS Ontolojisi, FA	Hayır	Evet
Tan ve ark. [2009]		UXDs, TRIZ	Hayır	Evet
Shea ve ark. [2009]		SysML	Evet	Evet
Chong ve ark. [2009]	KT (kısmi)	Sezgisel Algoritma	Hayır	Evet
Thakker [2009]		Pugh'un Kavram Analizi, 3DCAD	Hayır	Evet
Shin ve ark. [2010]		HOQ	Hayır	Evet
Kurtoğlu ve ark. [2010a]		SBFA Aracı	Hayır	Evet
Malekly ve ark. [2010]		Bulanık Küme Teorisi	Hayır	Evet
Chang ve ark. [2008]		OWL, Grafik Modelleme Aracı	Hayır	Evet
Kurtoglu [2010b]		Fonksiyon Tabanlı Sentez Paradigması	Hayır	Evet
Deng ve ark. [2009]		Eşleştirme Stratejisi	Hayır	Evet
Shi ve ark. [2007]		OWL, UML	Evet	Evet
Malak ve ark. [2009]		Çok Nitelikli Fayda Teorisi	Hayır	Evet
Ölvander ve ark. [2009]		Morfolojik Matris	Hayır	Evet
Camelo ve ark. [2010]		FBS Ontolojisi	Hayır	Evet
Zhang ve ark. [2010]		QFD, FMEA	Hayır	Evet
Uflkacker ve ark. [2011]		RDF, OWL	Hayır	Evet
Krish [2011]		SolidWorks ve XL şablonu (Excell)	Hayır	Evet

Kısaltmalar:
(QFD) Kalite Fonksiyon Yayılımı
(FBS) Fonksiyon-Davranış-Yapı
(FMEA) Hata Modu ve Etki Analizi
(HOQ) Kalite Evi
(UXDs) Beklenmedik Keşifler
(FA) Fonksiyonel Analiz
(KBE) Bilgi Tabanlı Mühendislik
(RFBS) İhtiyaç-Fonksiyon-Davranış-Yapı
(SBFA) Simülasyon Tabanlı Hata Analizi
(GM) Üretici Yöntem

3. KAVRAMSAL TASARIM

Bu işlem; temel problemleri belirleme, fonksiyon şemaları (yapıları) geliştirme, çözüm ilkeleri arama ve bu ilkeleri bir çalışma yapısında birleştirmeyi içerir. Yani, temel bir çözüm (kavram / konsept) ile son bulur. En uygun ilkelerin seçimi optimum / kaliteli bir tasarım çözümü sağlar. Burada çözüm seçeneği çoksa bir değerlendirme işlemi de yapılmalıdır [Pahl ve Beitz, 2007].

Genel bir kavramsal tasarım işleminde şu adımlar izlenir:

1. Tasarım görevini belirleme ve düzenleme (ihtiyaç listesi)
2. Görevin genel ve temel ifadesi
3. Fonksiyon şemaları (yapıları) oluşturma
4. Çalışma ilkeleri arama
5. Çalışma ilkelerini birleştirme (sentez)
6. Uygun birleşimleri seçme
7. Çözüm seçenekleri oluşturma ve gösterme
8. Çözüm seçeneklerini değerlendirme

3.1. Tasarım Görevini Belirleme ve Düzenleme

Tasarım ile yapılması gereken işlemler ve karşılanması istenilen ihtiyaç/sınırlayıcılar uygun bir şekilde ve düzgün formatta belirlenmelidir. Böylece bir ihtiyaç listesi (tasarım şartnamesi) ortaya çıkar ve bu belgedeki istekler tasarım çözümünce karşılanmalıdır. Bir tasarım şartnamesi kesin (yoruma yer bırakmayan), açık (kolay anlaşılan) ve tam (siparişe ait tüm veriyi içeren) olmalıdır. Ayrıca tasarım şartnamesinde yer alan veriler, istek ve arzu olarak iki türdedir. Bunlardan istekler, tasarım çözümünce kesin olarak karşılanmalıdır. Buna karşın arzular, ekonomik ve teknolojik olanaklar elverdiği ölçüde dikkate alınmalıdır. Ayrıca önemli, normal ve önemsiz olarak üç gruba ayrılabilirler.

Bir tasarım şartnamesinde; müşteriye özgü, temel ve çekicilik şeklinde ihtiyaçlar bulunabilir. İhtiyaç listesi hazırlama yöntemleri ise: ürün anketleri, ilişkisel yöntemler vb. şekilde olabilir. En basit yöntem olan ürün anketlerinde kullanıcıya bazı sorular sorulur. İlişkisel yöntemler ise kılavuzlar ve senaryo türünde olabilir. Bunlardan kılavuzlar, bir kontrol listesine dayanabilir ve daha özenli/dikkatli çalışma sağlar. Senaryo yönteminde ise ürüne ait çeşitli yaşam aşaması/koşullar ele alınabilir.

Ayrıca çeşitli tasarım aşamalarına ait kısmi ihtiyaç listeleri de vardır. Örneğin bir otomobil tasarımının kavramsal tasarım aşamasında "kaportada kullanılacak verniğin özellik ve parlama derecesini ifade etmek" gereksizdir. Bu durum ayrıntılı tasarımda ele alınmalıdır.

3.2. Görevin Genel ve Temel İfadesi

Tasarım şartnamesinde yer alan ihtiyaçlar oldukça ayrıntılı ve uzundur. Bu belgede yer alan tüm ifade ve ayrıntıları başlangıçta bir bütün olarak dikkate almak ve karşılamaya çalışmak mümkün değildir. Bunun yerine tasarım şartnamesinde ayrıntılı tanımlanan tasarım probleminin genel ve temel ifadesi yeni ve özgün çözüm yolları açabilir. Yani burada özel/somut ve önemsiz veriler ihmal edilirken, genel/temel ve önemli olanlar belirtilir. Örneğin; "4 silindirli bir benzin motoru" ifadesi yerine "motorlu taşıtlar için dönel mekanik enerji oluşturma" şeklinde bir ifade kullanılmalıdır. Bu amaçla tasarım şartnamesinde yer alan veriler 4-5 adımda ele alınmalı, genel ve temel bir ifadeye dönüştürülmelidir. Bu işlem şöyle yapılabilir:

1. Kişisel tercihler çıkarılır
2. Nicel veriler, nitel ve genel ifadelere dönüştürülür
3. Önceki adım, amaca bağlı genelleştirilir
4. Problem, çözümden bağımsız terimlerle formüle edilir.

3.3. Fonksiyon Şemaları (Yapıları) Oluşturma

Sistematik tasarım kapsamında fonksiyon teknik bir sistemin girdi/çıktı ilişkisi ve işlevini belirtir. Girdi/çıktı ilişkisi veya teknik sistemlerdeki akış; enerji, malzeme ve sinyal cinsinden olur veya başka bir hale dönüştürülürler. Tüm (genel) fonksiyon, görevi bir bütün olarak ele alan fonksiyondur (kara kutu şeklinde) ve iç yapıyı açıklamaz. Alt fonksiyon ise bir alt görevi ele alan fonksiyondur. Makul bir düzey ve düzende çeşitli alt fonksiyonlar ve aralarındaki akışlardan çeşitli tasarım problemleri için fonksiyon şemaları (yapıları) oluşturulabilir. Bu fonksiyon şemaları; tasarım problemini küçük ve bağımsız parçalara böler ve birleşimleri ile tüm probleme alternatif/özgün çözümler bulma sağlar. Ayrıca fonksiyonel bir yaklaşım ve/veya fonksiyon şemalarına dayalı bir yaklaşım tasarımcıya şu tür avantajlar sağlayabilir:

- Probleme ait önemli ve stratejik kısımlara odaklanabilme
- Geniş ve farklı perspektiflerden tasarıma yaklaşabilme
- Grup/disiplinler arası çalışma yapabilme
- Özel bir çözüm/düşünceye bağımlı kalmadan geniş/farklı alanlarda çözüm arayabilme
- Yakınlaşan-uzaklaşan düşünme (geniş ve dar tasarım uzayında çalışma) yapabilme
- Yeni/benzer çalışmalarda öncekilerden faydalanabilme

Tüm fonksiyona doğrudan etki veya katkıda bulunanlara ana fonksiyonlar; dolaylı katkıda bulunanlara yardımcı fonksiyonlar denir. Ana fonksiyonlara çözüm arama genelde daha öncelikli yapılır. Fonksiyon şemaları; kolay, hızlı, güvenilir ve kapsamlı tasarım çözümleri bulma sağlar. Özgün/orijinal tasarımlara ait kavramsal aşamalarda fonksiyon şemaları geliştirmek en önemli işlemlerden birisidir. Uyarlama/taklit tasarımlarda bunlar mevcut tasarımlara ait analizlere dayanır. Modüler tasarımlarda üretim ve montajı da belirledikleri için büyük önem taşırlar.

Fonksiyonel açıdan tasarımı ele alma amaçlı birçok araştırma yapılmış ve çeşitli fonksiyon tasnifleri ortaya çıkmıştır. Bunlara örnek olarak; genel geçerli fonksiyonlar (daha fazla alt parçaya ayrılamayan ve standart semboller) [Pahl ve ark., 2007], mantıksal fonksiyonlar (ikili cebire dayalı VE, VEYA, DEĞİL gibi) [Pahl ve ark., 2007], fonksiyonel temel (makine tasarımındaki geniş kapsamlı bir tasnif) [Hirtz, 2002] vb. gösterilebilir.

Kavramsal tasarımdaki en önemli işlemlerden birisi probleme uygun ve düzgün bir fonksiyon şeması hazırlamaktır. Çünkü, daha sonraki hemen tüm işlemlere bu şema mesnet teşkil edecektir. Bu nedenle bir fonksiyon şeması hazırlamada şu hususlara dikkat edilmelidir:

1. İhtiyaç listesinden belirlenen fonksiyonel ilişkilerden bir fonksiyon şeması hazırlanır ve sonra adım adım geliştirilir
2. Alt fonksiyonlar arası ilişki belirlenemiyorsa, ilk çözüm ilkesi arama, kabaca tayin edilen alt fonksiyonlara dayanmalıdır
3. Mantıksal fonksiyon şemaları mantıksal ilişkilere göre hazırlanır
4. E/M/S akışı belirlenmeden fonksiyon şeması tam olmaz (ana akış önemlidir)
5. Tekrarlanan alt fonksiyonlar önce uygulanmalıdır
6. Fonksiyon şema alternatifleri oluşturmak faydalı olur
7. Fonksiyon şeması basit olmalıdır
8. Optimum fonksiyon şeması çözüm aramada kullanılmalıdır

3.4. Çalışma İlkeleri Arama

Fonksiyon şemaları ile tasarım problemlerinin küçük ve bağımsız parçalara bölünebildiği yukarıda açıklanmıştır. Daha sonra ise bu küçük parçalara çeşitli yöntemler ile çalışma ilkeleri (çözümler) aranır. Çözüm bulma/çalışma ilkeleri arama yöntemleri: Geleneksel, sezgisel ve etkileşimli olmak üzere üçe ayrılır.

3.4.1 Geleneksel yöntemler

1. Bilgi derleme

Tasarımcı açısından güncel ve doğru bilgileri temin etmek, analiz etmek, tasnif etmek ve kullanmak çok önemlidir. Bu amaçla özellikle internet:

- Kaynak araştırması yapmak
- Ticari ürün/yayınları analiz etmek
- Sergi ve fuarları gözden geçirmek
- Rakip firmaların kataloglarını değerlendirmek
- Patentleri incelemek vb. amaçlar için kullanılabilir

2. Tabii sistemleri analiz etme

Tabii şekil, yapı, organizma ve işlemlerin incelenmesi ile yeni teknik çözümler bulunabilir. Arı bal peteğine dayalı hafif yapılar, tüp ve miller, hava aracı ve gemi profilleri, hava araçları, havalanma ve uçma karakteristikleri sadece bazı örneklerdir.

3. Mevcut teknik sistemlerin analizi

Yeni/adım adım gelişen önemli bir çözüm seçeneği oluşturma yoludur. Zihinsel/fiziksel ürün tahlillerini (yapısal analiz) ve:

- rakip şirketlerin ürün/üretim yöntemlerini inceleme
- çalışılan şirketin ürün/üretim yöntemlerinin inceleme
- benzer bazı kısmi çözümlerin ürün/montajlarını incelemeyi içerir

Bu inceleme işlemi yaratıcı ve yeni çözüm aramayı önlememelidir.

4. Benzerlikler (Analojiler)

Benzer bir problem veya sistemi model alma ve tasarımda kullanma yoludur. Teknik dışı alanlardan seçilenler bile faydalı olabilir.

5. Ölçümler ve model deneme

Mevcut sistemi ölçme, benzerlik analizi ve deneysel çalışmalara dayalı model testlerini içerir. Özellikle hassas ürünler ve seri üretime ait tasarım işlemlerine dahil edilir.

3.4.2. Sezgisel yöntemler

Zor problemleri çözmede sezgiye dayalı fikirler de yararlı olur. Sezgi; kapasite, yetenek, birikim ve konsantrasyona bağlıdır; aniden veya dış dürtülerle oluşabilir. Ancak salt sezgiye dayalı bir yöntemin şu gibi dezavantajları olabilir:

- Gerekli anda daima doğru fikirler oluşturulamayabilir
- Alışkanlık/ön yargılar, orijinal gelişmeyi engelleyebilir

Sezgisel yöntemler; kolektif düşünme ve yeni fikirler oluşturmayı hızlandırmalı, teşvik etmelidir.

1. Beyin fırtınası

Yeni fikirler seli oluşturma yöntemidir. Farklı meslek ve birikimlere sahip bir grup insanı bir araya getirme, kolektif düşünme ve fikirler geliştirmelerini kapsar. Grupta bir lider ve 5-15 arası katılımcı olmalı, eşit şartlara sahip akranlar yer almalıdır. Lider; işlemi uygulama ve yönetimle ilgilenir, kuralları uygular ve atmosferi rahat/verimli tutmaya çalışır, ortamın kırıcı olmasını engeller ve kayıt tutulmasını sağlar. İşlem esnasında katılımcılar rahat ve aşırı eleştirel olmamalı; yanlış, saçma vb. tepkiler gösterilmemeli, fikirler yeterince somut olmalı, başlangıçta

uygulanabilme ihmal edilebilmeli, seans süresi ise 30-45 dakika tutulmalıdır. İşlem sonrası önce uzmanlar; fikirleri değerlendirir, tasnif eder, sıralar ve tekrar geliştirir. Arkasından katılımcı ve uzmanlar, fikirleri tekrar değerlendirir ve yeni fikirler geliştirebilirler. Bir beyin fırtınası toplantısı; pratik çözüm ilkesi bulunmadığı, çözüme ait temel fiziksel işlemin belirlenemediği, çıkmaza girildiği ve geleneksel yaklaşımlarından sapma gerektiği gibi hallerde uygulanabilir.

2. 635 yöntemi

Rohnbas, beyin fırtınasını 635 yöntemine dönüştürmüştür. Burada altı katılımcıdan probleme ait üçer kaba çözüm istenir. Bu ilk çözümler, yandaki katılımcılara aktarılır ve onlar da üçer yeni ilave/geliştirme yaparlar. Bu işlem beş kez tekrarlanırsa ilk çözümler başa orijinal fikir sahiplerine döner. 635 yöntemi; daha sistematik çözümler geliştirme, iyi çözümleri izleme, grup liderine ihtiyaç olmaması gibi açılardan beyin fırtınasından üstündür. Buna karşın yaratıcılık ve teşvikin azalması gibi zayıf yanları vardır.

3. Galeri yöntemi

Bu yöntem, birey ve grup çalışmasını birleştirir. Çözümü kroki/çizim şeklinde ifade edilen her tasarım aşamasına uygundur. İşlem şu şekilde uygulanır: Giriş adımı, burada lider problemi sunar ve açıklar. 1. fikir üretme adımı: 15 dakikalık sürede katılımcılar sezgisel ve kroki şekliden çözümler oluştururlar. İşbirliği adımı: Çözüm fikirleri duvara asılır, incelenir ve tartışılır, yeni fikirler bulunur ve geliştirilir. 2. fikir geliştirme adımı: Öneriler müstakil olarak tekrar ve ileri düzeyde geliştirilir. Seçim adımı: Tüm fikirler incelenir, tasnif edilir ve parlak olanları seçilir. Galeri yönteminin avantajları; uzun tartışmalar olmadan grup çalışmasını yürütme, etkin fikir değişimi, ferdi katkıları kolay değerlendirme / saklama vb. gibidir.

4. Delfi yöntemi

Burada alan uzmanlarına problemi çözmede başlama noktası belirlemeleri sorulur. İşlem şu üç aşamadan oluşur: Uzmanlar problem çözümüne önerilerde bulunurlar, öneri listesine ilaveler yapılır ve öneriler değerlendirilip uygun olanları seçilir. Bu yöntem uzun dönemli mühendislik tasarım projelerine uygulanır.

5. Sinektik

Yöntem, çeşitli ve bağımsız kavramları birleştirmeyi içerir. Burada teknik dışı veya kısmen teknik alanlardan seçilen analojilerle yararlı fikirler izlenir. En çok yedi katılımcı olur. Yöntem, beyin fırtınasına benzemektedir. Sinektik yöntemi şöyle uygulanır: sorunu tanıtma/aşina olma/kavrama, analoji alma, analiz etme/sorunla karşılaştırma, yeni bir fikir ve uygun çözümler geliştirme.

6. Yöntemlerin birleştirilmesi

Yukarıda tanıtılan yöntemler bazen tek başına yetersiz kalabilir. Bir beyin fırtınası toplantısında fikir akışı kesilirse sinektik işlemine geçilebilir. Yeni bir fikir veya analoji, grup yaklaşımı ya da fikirlerini değiştirebilir. Bazen de hem fikir olunan hususların özeti yeni fikirler verebilir. Ayrıca geçersizleştirme, yeniden inceleme ve ileri adımlar yöntemleri kullanmak ta fikir çeşidini artırıp genişletebilir.

3.4.3. Etkileşimli yöntemler

1. Fiziksel işlemleri sistematik inceleme

Fiziksel bir denklem tasarım problemini temsil eder ve bazı değişkenler varsa, bunlar arası ilişkilerden çeşitli çözümler bulunabilir. Yani buradaki çözüm, diğer tüm parametreler sabit tutulursa, bir bağımlı ve bağımsız değişken arası ilişkidir. Örneğin; y = f (u, v, w) denkleminde bu yöntem; y_1 = f (u, v, w), y_2 = f (u, v, w) ve y_3 = f (u, v, w) şeklinde üç farklı çözüm verir (altı çizili parametreler sabittir).

2. Tasnif şemalarıyla sistematik araştırma

Çeşitli tasarım problemleri veya bunlara ait ortak/alt kısımları çeşitli ölçütlere göre tasnif etmede faydalı olabilir. Böylece yeni tasarım problemlerine hızlı ve sistematik çözümler aramada bunlar kullanılabilir. Tasnif şeması oluşturmak için birçok format vardır ve ayrıca bazı tasnif ölçütleri kullanımı da kaynaklarda önerilmektedir. Bir tasnif şeması oluşturmak için şu sıra izlenebilir:

1. Çözüm önerileri satırlara rastgele girilir
2. Bunlar E türü, çalışma geometrisi/hareketi vb. başlıklara göre analiz edilir
3. Bu başlıklara göre tasnif edilir ve düzenlenir.

Tasnif şeması hazırlarken:

- Bunlar sistematik ve kapsamlı olmalı, uyumsuzluklar giderilmeli, parlak çözümler sürdürülmeli ve yeni seçenekler incelenmeli
- Parlak çözümler özel bir işlemle seçilmeli
- Mümkün olduğunca geniş kapsamlı şemalar hazırlanmalı

3. Tasarım katalogları kullanımı

Bir tasarım katalogu, bazı teknik görevler veya çeşitli alt fonksiyonlara ait bilinen veya doğruluğundan emin olunan çözümler koleksiyonudur. Burada farklı tür bilgiler veya çeşitli somutluk düzeyli çözümler olabilir. Fiziksel etkiler, çalışma ilkeleri, temel çözümler, makine elemanları, malzemeler, hazır parçalar vb. içerikli olabilirler. Tasarım katalogları:

- Derlenen veri veya bilgilere daha çabuk ve problem-odaklı ulaşım sağlamalı
- Olası/genişletilebilir önemli çözümler aralığı sunmalı
- Mümkün olduğunca büyük disiplinler arası uygulama yelpazesi olmalı
- BDT ve geleneksel tasarım işlemine veri sağlamalıdır

3.5. Çalışma İlkelerini Birleştirme (Sentez)

Sistematik tasarımda problem, görev veya fonksiyonlar, önce küçük ve bağımsız parçalar bölünür ve sonra çözülürler. Çözüm sayısının olabildiğince fazla olması tercih edilir. Arkasından küçük parçalara ait çözümlerin birleştirilmesi ile de farklı genel çözümler elde edilir. Burada küçük parçaların birleşim uyumu ve çok büyük çözüm uzayı oluşmamasına (seçenek sayısına) dikkat edilmelidir. Alt fonksiyonlar için bulunan çözümlerin sistematik birleştirilmesinde morfolojik matrisler kullanılır. Burada alt fonksiyonlar ve çözümleri önce satırlara girilir. Daha sonra bu çözümlerin uygun her birleşimi bir genel çözümü (konsepti) verecektir. F_1 alt fonksiyonu için m_1, F_2 için m_2 çözüm ilkesi varsa; $N= m_1.m_2.m_3 \ldots m_n$ teorik olası seçenek birleşimi olabilir. Ancak bu olası birleşim bazen çok büyük olabileceği için uygulanabilir bir birleşime düşürülmelidir (teorik çözüm uzayı uygulanabilir uzaya daraltılmalıdır).

Ayrıca bu birleşimde uyumlu çözümleri belirlemek için:

- Fonksiyon şemalarında yer aldığı şekilde alt fonksiyonlar sıralanmalı
- Ek parametrelerle çözüm ilkeleri düzenlenmeli
- Çözüm ilkeleri kelime veya kaba krokilerle ifade edilmeli
- Önemli çözüm ilkelerine ait özellikleri kaydetmek gerekir.

Uyum teyidi de önemlidir ve bu amaçla uyumluluk matrisi kullanılabilir.

3.6. Uygun Birleşimleri Seçme

Bir önceki aşamada (ki bunlar çoksa) belirlenen seçenek sayısını azaltmak ve makul düzeye indirmek için bir ön seçim yapılmalıdır. Bu amaçla seçim kartı kullanılır. Seçim kartında çeşitli ölçütler vardır ve bu ölçütlere göre çözüm seçenekleri değerlendirilir. Bu ölçütler: “Uyum güvencesi”, “İhtiyaç listesini karşılama”, “Prensipte gerçekleştirilebilir”, “Makul maliyette” vb. şekildedir. Genel çözüm seçenekleri bu ölçütlere göre kabaca değerlendirilir ve sonuçta genel bir karar verilir.

Bu kararın olumlu olması seçilen seçeneğin üzerinde durmaya ve sonraki aşamalara taşınmaya değer bir çözüm olduğu anlamına gelir.

3.7. Çözüm Seçenekleri Oluşturma ve Gösterme

Ön seçim işlemi sonucu belirlenen umut verici kavram (konsept) seçenekleri uygun çizimlerle (genelde kaba kroki şeklinde) gösterilmelidir. Bu çizimler çoğunlukla bir montaj veya yapım resmi olmayıp kavramın daha iyi ifade ve anlaşılmasını sağlayan resimlerdir. Duruma göre bilgisayar ortamında hazırlanan 3B katı modeller de olabilirler. Yine bazen ek hesap veya çizimler de yapılabilir.

3.8. Çözüm Seçeneklerini Değerlendirme

Daha önce birçok çözüm seçeneği oluşturulmuş, ön seçim işlemi yapılmış ve şematik olarak gösterilmişti. Genelde burada da en az birkaç alternatif çözüm olacaktır. Ancak bu çözümlerden hangisinin en iyi / optimum olduğu ve daha sonraki aşamalara taşınıp üzerinde çalışılması gerektiği hala en önemli konudur. Bu amaçla ikinci ve hatta üçüncü bir değerlendirme işlemi yapılmalıdır. Tasarım kapsamında değerlendirme bir çözümün "değer", "fayda" ve "dayanımı" belirlemek olarak ifade edilebilir. Bu amaçla iki genel yöntem uygulanabilir. Bunlar: Seçenekleri birbirleri ile karşılaştırma (bağıl değerlendirme veya içlerinden en iyiyi seçme) veya mükemmel bir çözüme yaklaşım derecesini baz alma (global değerlendirme veya ideale yaklaşma) şeklinde olur. Bu yöntemler, Maliyet-Kazanç Analizi veya VDI 2225 Kılavuzu kullanılarak yapılabilir.

Bunlardan Maliyet-Kazanç Analizi bir amaçlar ağacı kullanır. Burada çeşitli ölçütler bir ağaç yapısında ve hiyerarşik bir şekilde önem dereceleri ile (ağırlıkları) birlikte gösterilirler. Bu ölçütlerin her düzeyde bir değeri (önem derecesi) olmalıdır. Örneğin; O_{1111}=0,25x0,67x0,5x1 = 0,69 önem (ağırlık) değeri bulunur. Daha sonra belirlenen bu değerlendirme ölçüt/önemleri (ağırlıkları), parametrelere aktarılır. Bunlar somut ve ölçülebilir olmalıdır ve çözüm seçeneklerini ölçme işleminde (değerlendirmede) kullanılır (değer ölçeğine uygun not barem ve karşılıkları ile). Bu

şekilde çözüm seçenekleri değerlendirilir ve bir çözüm seçeneğine ait tüm değer (ağırlıklı veya ağırlıksız) belirlenebilir. Daha hassas değerlendirme yapılmak isteniliyorsa beğenilme derecesi diyagramlarından da faydalanılabilir. Amaçlar ağacı ve parametrelere dayalı değerlendirmede (Maliyet-Kazanç Analiz değerlendirmesi) sonucu puanları birbirine çok yakın iki/üç çözüm seçeneği kalmış ise bunların son değerlendirmesinde değer profil diyagramı kullanılabilir (zayıf noktaları arama).

3.9. Kavramsal Tasarım Örneği

Kavramsal tasarımın daha iyi anlaşılabilmesi için örnek bir tasarım uygulaması yapılmıştır. Örnek olarak varyatör mekanizması seçilmiştir. Varyatör, belirli devir aralıklarında çalışma özelliğine sahip olan bir kademesiz hız ve güç iletim mekanizmasıdır. Yakıt tasarrufu ve düzgün ivmeli çalışması en önemli avantajlarındandır. Burada esas amaç otomobillerde yakıt tasarrufu sağlayabilecek bir güç ve hareket iletim mekanizması (varyatör) tasarlamaktır. Örnek kavramsal tasarım işlemi daha önce bahsedilen sekiz ana adıma göre uygulanmıştır.

3.9.1. Tasarım görevini belirleme ve düzenleme (ihtiyaç listesi)

Kavramsal tasarımda ilk önce bir tasarım şartnamesi oluşturmak gerekmektedir. Çizelge 3.1'de varyatör için hazırlanmış bir tasarım şartnamesi verilmiştir. Şartnamede toplam 18 ihtiyaç vardır ve genelde istek şeklindedir. Arzu şeklinde olan "az yer kaplama" ihtiyacı ise ekonomik ve teknolojik şartlar elverdiği ölçüde dikkate alınmalıdır. Tüm bu ihtiyaçlar mevcut kaynaklar (internet, kitap, dergi vb.) incelenerek belirlenmiştir. Tasarımcı bilgi ve tecrübesine göre geliştirilebilir.

Çizelge 3.1. Varyatör için bir tasarım şartnamesi

		TASARIM ŞARTNAMESİ Varyatör	20.12.2010 Sayfa:1
DEĞİŞİKLİKLER	İ A	İHTİYAÇLAR	SORUMLU
	İ A	<u>Geometri:</u> Hareket ve güç iletimi kademesiz olmalı Az yer kaplamalı	
	İ İ İ	<u>Kinematik:</u> İletim oranı $\dot{I}_{min} \cong 0{,}25$ $\dot{I}_{max} \cong 2$ DB $\cong 8$ İletim kaybını önleyecek uygun basınç uygulanmalı Giriş devir sayısı=1000 dev/dk	
	İ	<u>Kuvvetler:</u> Maksimum çıkış momenti $\cong$ 120Nm	
	İ	<u>Enerji:</u> Güç kayıpları minimum tutulmalı	
	İ	<u>Malzeme:</u> Ara yuvarlanma elemanları ve baskı parçaları uygun olmalı	
	İ	<u>Sinyal:</u> Çıkış devir sayısı ölçülebilmeli	
	İ İ İ	<u>Emniyet ve Ergonomi:</u> Çalışma esnasında yağ vb. etkenler doğru kullanılmalı Çıkış devir sayısı ve gücü maks. sınırları aşmamalı Kullanım yerine uygun montaj boyutu olmalı	
	İ İ	<u>Üretim ve Kontrol:</u> Kolay üretilebilir parçalardan oluşmalı Girdi ve çıktı testleri kolay yapılabilmeli	
	İ	<u>Montaj ve Nakil:</u> Minumum ağırlıkta olmalı ($W_{max} \leq 16$ Kg)	
	İ İ	<u>İşleyiş ve Bakım:</u> Parça sayısı minumum olmalı Bakım ve onarımı hızlı yapılmalı	
	İ	<u>Maliyet:</u> Üretim maliyeti: ~ 2000 TL	

3.9.2. Görevin genel ve temel ifadesi

Tasarım şartnamesine göre önemli problemler aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- ✓ Motordan gelen dairesel hareketi iletme (yataklama)
- ✓ Kademesiz hız ve moment aktarımı
- ✓ İletim oran aralığında güç / devir çıktısı
- ✓ Girdi ve çıktı elemanları arası temas basıncı
- ✓ Çıkış devir sayısını otomatik veya elle ayarlama
- ✓ Varyatörden çıkan dairesel hareketi iletme (yataklama)

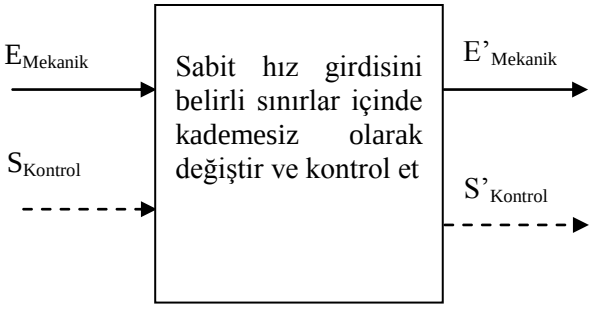
Problemler sadeleştiğinde;

- ✓ Motordan gelen dairesel hareketi kademesiz olarak aktarma veya değiştirme
- ✓ İstenilen hız ve güç değerlerini sağlama
- ✓ Çıkış devir sayısını otomatik veya elle kontrol etme

Sonuç olarak genel problem tanımı "motordan gelen dairesel hareketi belirli sınırlar içinde kademesiz olarak değiştirme ve kontrol etme" şeklinde yapılabilir.

3.9.3. Fonksiyon şemaları (yapıları) oluşturma

Genel problem tanımına göre tüm fonksiyon tanımı "sabit hız girdisini belirli sınırlar içinde kademesiz olarak değiştir ve kontrol et" şeklinde yapılabilir (Şekil 3.1).



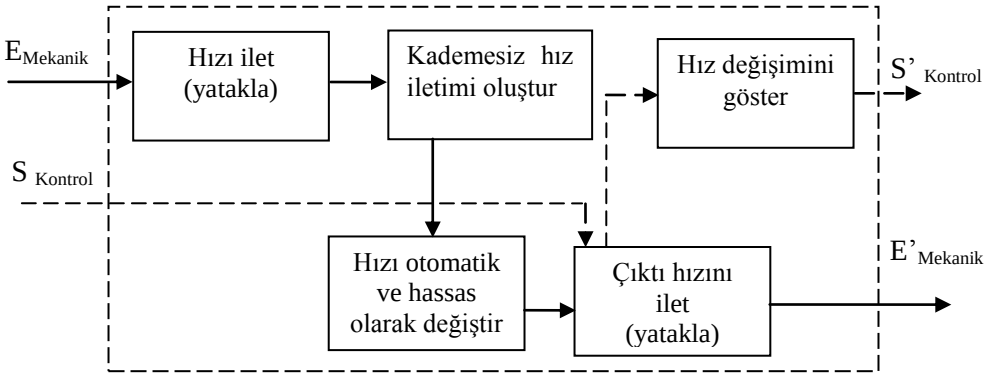
Şekil 3.1. Tüm fonksiyon yapısı

Önemli alt fonksiyonları belirleme:

Tüm fonksiyonu sağlayabilecek önemli alt fonksiyonlar şöyle listelenebilir:

1. Girdi hızını ilet (yatakla)
2. Hız iletimi için eksenel baskı oluştur
3. Girdi hız ve torkunu istenilen oranda kademesiz olarak değiştir
4. Çıktı hızını ilet (yatakla)
5. Hız büyüklüğünü değiştir
6. Hız değişimini göster

Alt fonksiyonlar dikkate alındığında oluşabilecek genel fonksiyon yapısı Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Bu fonksiyon yapısı tüm sistemi ve iç yapısını (alt görevler ve aralarındaki ilişkiler ile) işlevsel olarak açıklar.



Şekil 3.2. Varyatöre ait bir fonksiyon yapısı

3.9.4. Çalışma ilkelerini arama

Varyatör sistemi için alt fonksiyonlara ait temel çözümler bir sınıflandırma şemasında gösterilebilir (Çizelge 3.2). Bu çözümler artırılabilir.

Çizelge 3.2. Varyatör için sınıflandırma şeması

Çözümler / Alt fonksivonlar		1	2	3	4	5
1	Hızı ilet	Kaymalı yatak	Radyal yatak	Eksenel yatak	Radyal/eksenel yatak	
2	Kademesiz hız iletimi oluştur	Sürtünmeli disk	Kayış kasnak mekaniz.	Hidrolik sistem	Globoid mekanizması	Zincir dişli mekaniz.
3	Hızı otomatik ve hassas olarak değiştir	Vida sistemi	Pnömatik selenoid	Hidrolik/ selenoid	Elektronik	
4	Çıktı hızını ilet	Kaymalı yatak	Radyal yatak	Eksenel yatak	Radyal/eksenel Yatak	
5	Hız değişimini göster	Mekanik gösterge	Elektronik gösterge			

3.9.5. Çalışma ilkelerini birleştirme (sentez)

Buradaki tüm çözüm birleşimleri dikkate alınsaydı toplam 4x5x5x4x2 = 800 farklı çözüm seçeneği oluşacaktı. Bu olası yüksek çözüm seçenek sayısı gerek değerlendirme gerekse tasarım zamanını olumsuz etkileyecektir. Böylece sistematik değerlendirme aşaması öncesi gerçekleşmesi mümkün olmayan ve genel (tüm) fonksiyon şemasını (yapısını) karşılamayan tüm çözümler elenir (Çizelge 3.3). Arkasından genel fonksiyon şeması ve ihtiyaçlar listesini karşılayan çözümler dikkate alındığında toplam 5 farklı çözüm seçeneği elde edilebilir. Bunlar:

ÇV1: 1.4 , 2.3 , 4.4 , 5.2
ÇV2: 1.4 , 2.5 , 3.3 , 4.4 , 5.2
ÇV3: 1.4 , 2.5 , 3.4 , 4.4 , 5.2
ÇV4: 1.4 , 2.1 , 3.1 , 4.4 , 5.2
ÇV5: 1.4 , 2.2 , 3.3 , 4.4 , 5.2

Yukarıdaki seçim işleminde önemli ölçütler:

1. Yataklara genelde eksenel ve radyal kuvvet müşterek etki ettiği için eksenel ve radyal yataklar beraber kullanılmalıdır.
2. 2 nolu alt fonksiyon çözümlerinde, güç ve verimi birlikte sağlayan seçenekler dikkate alınmalıdır (mekanik-sürtünmeli, hidrolik, zincir).
3. Hız değişimini göstermede, test için elektronik sistem (sensör) kullanılmalıdır.

Çizelge 3.3. Öncelikli çözümleri tespit etme

Çözümler / Alt fonksiyonlar		1	2	3	4	5
1	Hızı ilet	Kaymalı yatak	Radyal yatak	Eksenel yatak	Radyal/eksenel yatak	
2	Kademesiz hız iletimi oluştur	Sürtünmeli mekanik sistem	Kayış kasnak mekaniz.	Hidrolik sistem	Globoid mekanizması	Zincir dişli mekaniz.
3	Hızı otomatik ve hassas olarak değiştir	Vida sistemi	Pnömatik selenoid	Hidrolik/ selenoid	Elektronik	
4	Çıktı hızını ilet	Kaymalı yatak	Radyal yatak	Eksenel yatak	Radyal/eksenel yatak	
5	Hız değişimini göster	Mekanik gösterge	Elektronik gösterge			

3.9.6. Uygun birleşimleri seçme

Önceki aşamada seçilen 5 farklı çözüm varyantı ön bir seçim işlemine (bir seçim kartı kullanılarak) tabi tutulur ve önemli olanları belirlenir (Çizelge 3.4).

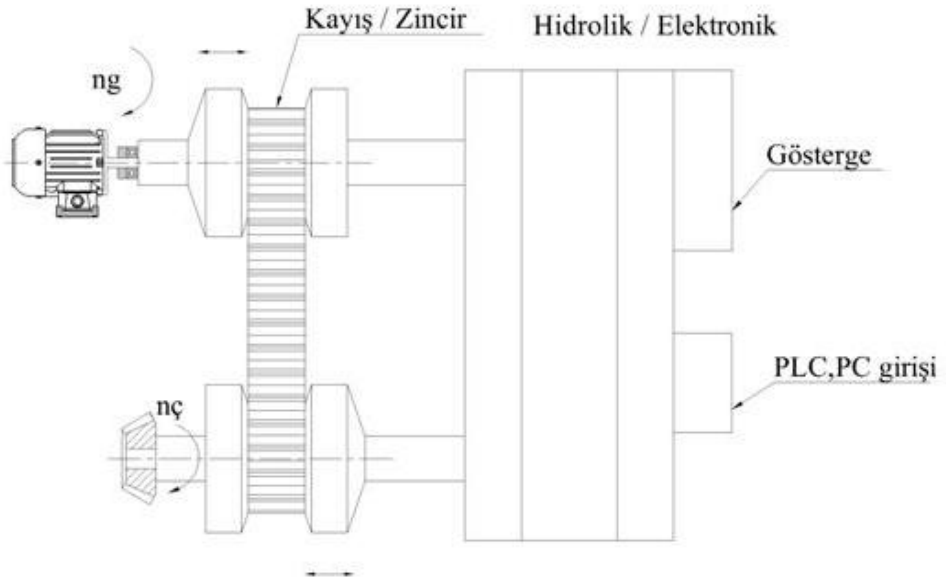
Çizelge 3.4. Uygun varyatör çözüm seçenekleri belirleme için seçim kartı

		SEÇİM KARTI VARYATÖR								
Çözüm varyantları		KARAR KRİTERLERİ (+) Evet (-) Hayır (?) Bilgi eksikliği (!) Şartı kontrol et								KARAR KARAR KRİTERLERİ (+) Çözümü sürdür (-) Çözümü çıkar (?) Bilgi topla (!) Değişiklikler için şartnameyi kontrol et
		Tüm fonksiyonla uyumlu								
		Şartname isteklerini karşılar								
		Prensipte gerçekleşebilirlik								
		Müsaade edilebilir maliyet								
		Emniyet şartlarını doğrudan karşılar								
		Tasarımcı şirketince tercih edilir								
		Yeterli bilgi								
		A	B	C	D	E	F	G	Görüşler(sebepler)	
Çv1	1	+	-	+	-	+	?	+	Maliyeti fazla	-
Çv2	2	+	-	+	-	+	?	+	Geliştirilmeli	+
Çv3	3	+	-	+	-	+	?	+	Geliştirilmeli	+
Çv4	4	+	+	+	+	+	?	+	Yeterli	+
Çv5	5	+	+	+	?	+	?	+	Yeterli	+

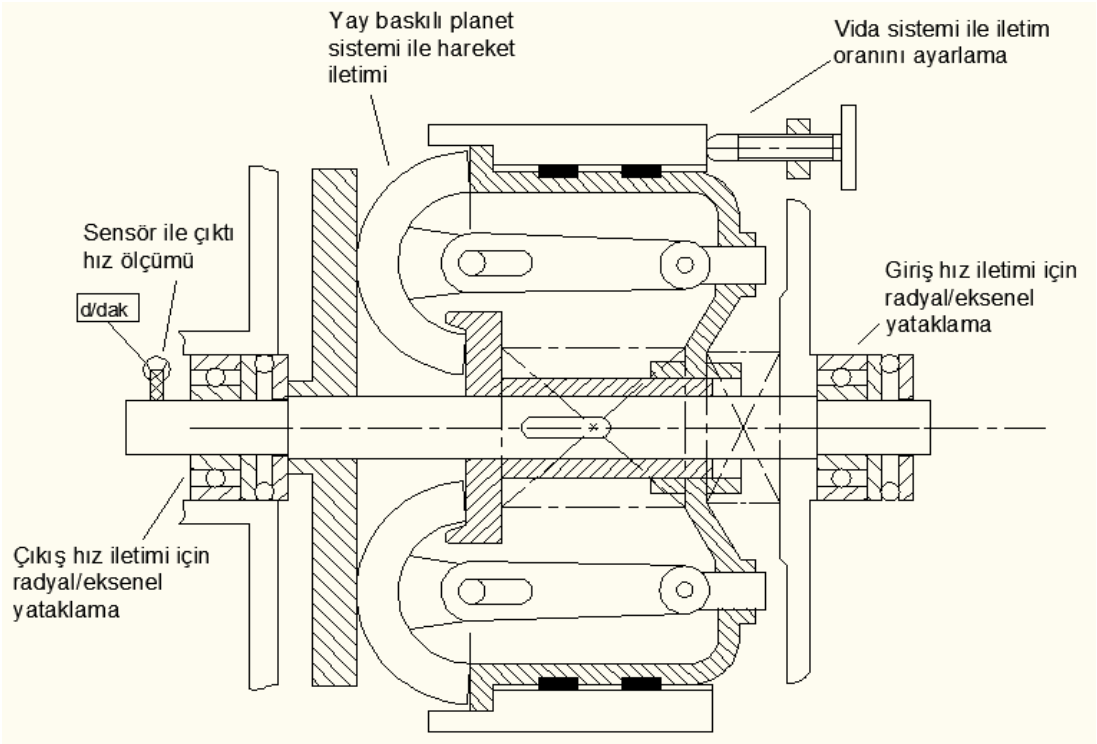
3.9.7. Çözüm seçenekleri oluşturma ve gösterme

Seçim kartında yapılan seçim işlemine göre çözüm seçeneklerinden Çv2, Çv3, Çv4 ve Çv5 seçilmiştir. Şekil 3.3'te Çv2, Çv3 ve Çv5'e örnek olabilecek bir çözüm sentezi gösterilmiştir.

Yukarıdaki şekilde Çv2 için ara hareket taşıyıcı olarak kayış; kumanda olarak elektronik sistem düşünülmüştür. Aynı şekilde Çv3'te kayış-hidrolik; Çv5'te zincir-hidrolik sentezleri düşünülmüştür. Bu çözüm sentezleri doğrudan mekanik çözümlere dayanmayıp maliyeti yüksek olan sentezlerdir. Şekil 3.4'te ise genel olarak mekanik çözümlerden oluşan bir çözüm seçeneği Çv4 gösterilmiştir. Yay baskılı planet mekanizmaları ile 60 kW veya üstü güçler iletilebilir, bunların tasarım ve imalatı daha düşük maliyette yapılabilir.



Şekil 3.3. Çv2, Çv3 ve Çv5'e ait seçeneklerin şematik olarak gösterilmesi

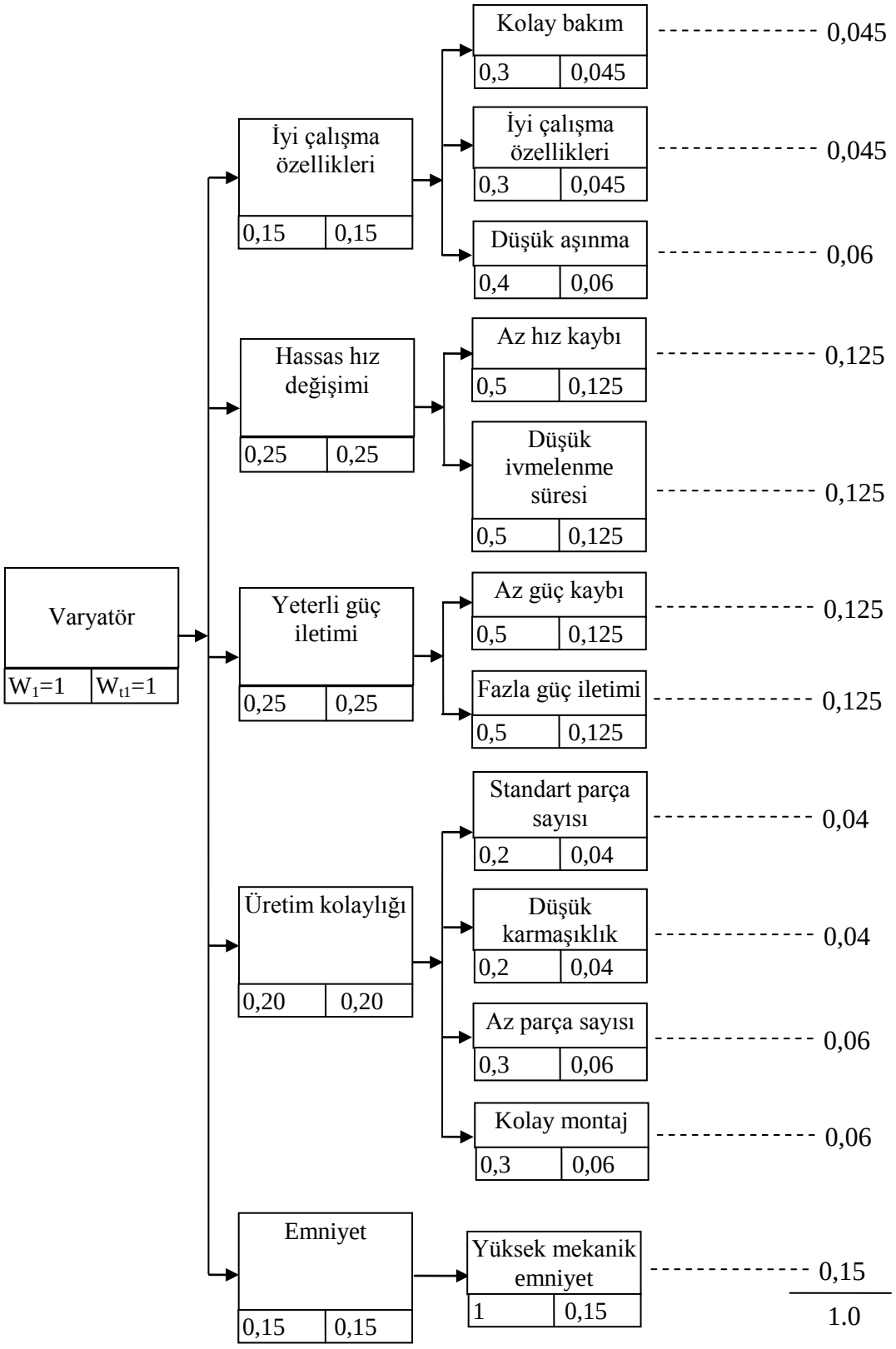


Şekil 3.4. Çv4 çözüm seçeneğine ait şematik gösterim

3.9.8. Çözüm seçeneklerini değerlendirme

Geriye kalan üç çözüm seçeneğini daha hassas bir değerlendirebilmek için bir amaçlar ağacı oluşturulur. Genelde bu ağaç yapısı tasarım şartnamesine dayalı hazırlanır. Varyatör sistem seçeneklerini değerlendirmede kullanılabilecek örnek bir amaçlar ağacı Şekil 3.5'te verilmiştir. Burada her amaç için ayrı yüzde ve tüm sistem içindeki ağırlıkları belirlenmiştir. Bu değerler tasarımcı tarafından belirlenmekte ve geliştirilmeye açıktır. Diğer bir önemli husus ise değerlendirme ağaç yapısı son katmanında oluşan ihtiyaçlar esas alınmalı ve bu ihtiyaçların ağırlık değer toplamları (önem dereceleri) 1 olmalıdır.

Amaçlar ağacındaki amaçlar ve ağırlıkları kullanılarak değerlendirme tablosunda geri kalan tüm çözüm seçeneklerine ait gerekli değerler yerlerine yazılır ve son ağırlık değerleri hesaplanarak bu çözüm seçeneklerinin sistem ihtiyaçlarını ne ölçüde karşılayabilecekleri belirlenebilir (Çizelge 3.5).

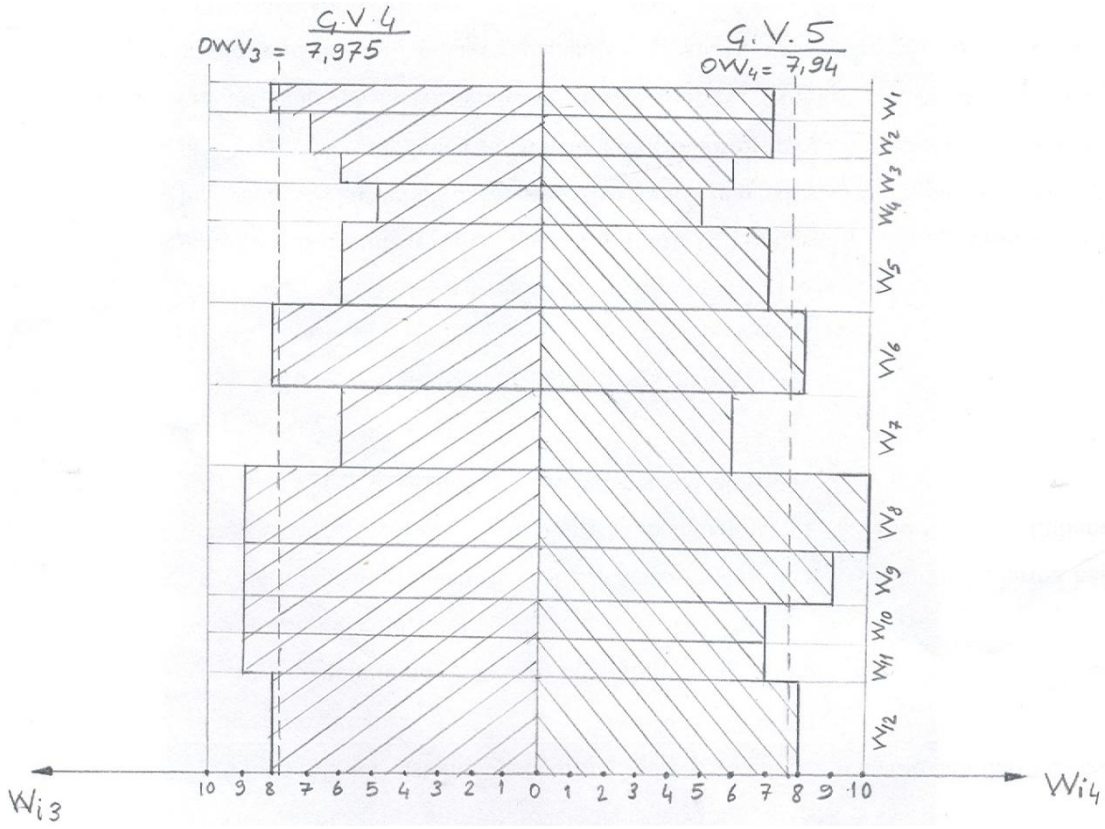


Şekil 3.5. Varyatör seçeneklerini değerlendirmek için örnek bir amaçlar ağacı

Çizelge 3.5. Varyatör seçenekleri için değerlendirme tablosu

Değerlendirme kriteri			Parametreler		2. çözüm seçeneği			3. çözüm seçeneği			4. çözüm seçeneği			5. çözüm seçeneği		
No		Wt		Birim	Büyüklük M_{21}	Değer V_{21}	Ağırlık Wv_{21}	Büyüklük M_{21}	Değer V_{21}	Ağırlık Wv_{21}	Büyüklük M_{21}	Değer V_{21}	Ağırlık Wv_{21}	Büyüklük M_{21}	Değer V_{21}	Ağırlık Wv_{21}
1	Kolay bakım	0,045	Bakım süresi	dk.	15	8	0,36	20	7	0,315	15	8	0,36	20	7	0,315
2	Düşük aşınma	0,060	Aşınma	-	Orta	5	0,3	Orta	5	0,3	Az	7	0,42	Az	7	0,42
3	Titreşimlere karşı	0,045	Özgül	S^1	300	6	0,27	320	6	0,27	330	6	0,27	330	6	0,27
4	Kolay montaj	0,06	Montajın	-	Orta	5	0,3	Orta	5	0,3	Orta	5	0,3	Orta	5	0,3
5	En az hız kaybı	0,125	Hız farkı	d/dk	0,9	6	0,75	1	6	0,75	1	6	0,75	0,8	7	0,875
6	En düşük	0,125	Hızlanma	sn	5	7	0,875	6	6	0,75	5	8	1	5	8	1
7	En az güç kaybı	0,125	Giriş-çıkış güç farkı	%	20	6	0,75	20	6	0,75	20	6	0,75	20	6	0,75
8	En fazla güç iletimi	0,125	Çıkış gücü	kw	60	8	1	65	9	1,125	75	9	1,125	80	10	1,25
9	Standart parça sayısı	0,08	Standart parça	%	90	9	0,72	90	9	0,72	90	9	0,72	90	9	0,72
10	Az parça sayısı	0,06	Parça sayısı	-	Az	9	0,54	Orta	7	0,42	Az	9	0,54	Orta	7	0,42
11	Parçalarda düşük karmaşıklık	0,06	Karmaşıklık	-	Az	9	0,54	Orta	8	0,48	Az	9	0,54	Orta	7	0,42
12	Yüksek mekanik emniyet	0,15	Emniyet	-	Yüksek	8	1,2	Yüksek	8	1,2	Yüksek	8	1,2	Yüksek	8	1,2
		$\sum W_i = 1$				$\underline{OV_2}$ 86 $\underline{R_2}$ 0,72	$\underline{OWV_2}$ 7,605 $\underline{WR_2}$ 0,76		$\underline{OV_3}$ 82 $\underline{R_3}$ 0,68	$\underline{OWV_3}$ 7,38 $\underline{WR_3}$ 0,74		$\underline{OV_4}$ 90 $\underline{R_4}$ 0,75	$\underline{OWV_4}$ 7,975 $\underline{WR_4}$ 0,798		$\underline{OV_5}$ 87 $\underline{R_5}$ 0,73	$\underline{OWV_5}$ 7,94 $\underline{WR_5}$ 0,794

Değerlendirme tablosunda 4. ve 5. çözüm seçenekleri en yüksek puanlara sahip (dolayısı ile en iyi son iki) olarak belirlenmiştir. ÇV4 ve ÇV5 bir değer-profil diyagramında karşılaştırıldığında ve eksikleri göz önüne alındığında; 4. çözüm seçeneği, kavramsal tasarım sonucu elde edilen en iyi (optimum) çözüm kavramı olarak kabul edilebilir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Değer-profil diyagramı

4. YARATICI PROBLEM ÇÖZME YÖNTEMLERİ

Bu bölümde önemli problem çözme yöntemlerinden olan SIT ve türevleri (ASIT, USIT), zihin haritalama, sinektik, QFD ve TRIZ hakkında temel bilgiler verilmiştir. Burada amaç, çeşitli problem çözme yöntemlerini karşılaştırarak bunların güçlü ve zayıf yönlerini ortaya çıkarmaktır. Aşağıda bu dört yöntemden SIT ve türevleri (ASIT, USIT), zihin haritalama, sinektik ve QFD genel olarak, TRIZ ise detaylı olarak açıklanmıştır. Arkasından yöntemler arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Böylece tezde kullanılacak olan TRIZ ve QFD yöntemlerinin diğer yöntemlere göre güçlü ve zayıf yönleri daha açık görülebilecektir.

4.1. SIT, ASIT, USIT

SIT (Sistematik Yaratıcı Düşünme), İsrail'de 1990'ların başlarında Dr. Roni Horowitz ve meslektaşları tarafından geliştirilmiştir. Şimdilerde ASIT (İleri SIT) olarak ta bilinen bu yöntem TRIZ'i basitleştirme ve genelleştirmeyi amaçlamıştır [Nakagawa, 2012]. Dr. Ed Sickafus SIT'i içinde bulunduğu otomotiv alanına uyarlayarak yeni bir yöntem bulmuştur. Bu yeni yönteme USIT (Birleşik Yapılı Yaratıcı Düşünme) adını vermiştir. 2000 yılından bu yana Ford şirketi bünyesinde ve dışında USIT eğitimleri verilmeye başlanmıştır. Öte yandan birçok ülkede enstitü ve şirketlere de tanıtımları sürmektedir. Burada adı geçen üç yöntem TRIZ esas alınarak geliştirilmiştir. Bunlardan yaygın ve basit olan ASIT yöntemi aşağıda kısaca özetlenecektir.

SIT/ASIT yönteminde temel ilke "kapalı dünya (closed world)" ilkesidir. Kapalı dünya ilkesi bir probleme bulunacak yaratıcı çözümün o problem dünyası veya ona komşu ortam içinde olduğu varsayımına dayalıdır. Yani, bir problemin yaratıcı çözümü yine kendi içinde ya da ona en yakın bir ortamdadır. ASIT yöntemi beş aracın kullanımıyla gerçekleşmektedir. Bunlar aşağıda kısaca açıklanmıştır [Barak, 2004].

1. Birleştirme: Var olan bir bileşene yeni fonksiyon eklemek

2. Çoğaltma: Mevcut bir nesnenin değiştirilmiş veya değiştirilmemiş bir kopyasını dahil etmek
3. Bölme: Bir nesneyi bölmek ve parçalarını yeniden düzenlemek
4. Nesne kaldırma: Sistemden bir nesneyi kaldırmak
5. Simetriyi değiştirme: Sistem bileşenleri veya fonksiyonları arasındaki simetri/asimetri ilişkilerini değiştirmek

Horowitz, SIT yöntemi uygulanarak bulunan çözümlerin yaratıcı olup olmadığını iki koşula dayandırmıştır [Horowitz, 1999]. Bunlar: CW (Kapalı Dünya) ve QC (Nitelik Değişimi) olarak adlandırılır. CW koşulu, bir problemin çözümünü kendi içinde ya da en yakın komşu nesnelerde arama koşuludur. QC koşulu ise bulunan çözümün kararlı, güvenilir olmasıyla ilgilidir. Basit bir örnekle açıklamak gerektiğinde; iç içe geçebilir bir anten tasarımını ele alalım. Buradaki ilke, gerektiğinde kısalabilen gerektiğinde uzayabilen bir anten tasarlamaktır. CW açısından bakıldığında anten tasarımında harici bir malzeme yerine kendisinin birkaç kez kopyalanmasıyla oluşmaktadır. Yani problem kendi içinde çözülmüştür. QC açısından bakıldığında antenin belirli bir mesafede uzayıp kısalabilmesinde herhangi bir problem oluşmayacaktır. Dolayısıyla çözüm kararlıdır.

4.2. Zihin Haritalama

Zihin haritalama, 1960'larda Tony Buzan tarafından keşfedilen yaratıcı bir düşünme yöntemidir. Bu yöntem beyindeki kodlama faaliyetlerini taklit eder. Kelime, resim, sayı, mantık, ritim, renk ve boyutsal özellikleri zihinde kalıcı bir tarzda ilişkilendirir. Bu sayede insanın hem mevcut durumu daha iyi kavramasını hem de daha önce düşünülmemiş yaratıcı fikirleri keşfetmesini sağlar. Zihin haritalamada izlenen genel yol şöyledir [Buzan, 1993]:

1. Sayfanın ortasına zihin haritasının genel temasını tarif eden bir resim çiz,
2. Alt temalar oluştur,
3. Temalara uygun anahtar kelimeler veya resimler kullan,
4. Hatırlamayı kolaylaştıran sembol ve yazılar ekle,

5. Elemanları ilişkilendirmek için görsel destekler (renkler, oklar) kullan,
6. Yaratıcı bir bakış açısıyla var olan ilişkileri yeniden düşün,
7. Değerlendirme yapılacaksa çeşitli alternatiflere puan ver ve genel puanı hesapla

Bu yöntem, bireysel veya grupla uygulanabilmektedir. Genellikle hiyerarşik olan ve olmayan zihin haritaları şeklinde kullanılır. Bir araştırmada hiyerarşik olmayan zihin haritalarının acemi ve uzman tasarımcıların yaratıcılık ve problem çözme kabiliyetlerini geliştirdiği ortaya çıkmıştır [Kokotovich, 2008].

Bilgisayar grafiği (çizgi, daire vs.) ve taslak tabanlı birçok zihin haritalama aracı geliştirilmiştir. Bunlara: iMindMap, ConceptDraw, Mind Manager Pro ve DEMAIS örnek olarak gösterilebilir [Chik ve ark., 2007]. Chik ve ark. [2007], geliştirilen grafik ve taslak tabanlı sistemleri incelemiştir. Bu sistemlerin kullanıcıyı bazı grafiksel araçlarla (çizgi, renk, biçim vs.) sınırlaması ile etkin bir zihin haritalama işlemi yapılamadığını belirlemişlerdir. Böylece tamamen kullanıcı merkezli ve tablet PC'ler üzerinde kullanılabilen bir yazılım sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem vasıtasıyla kullanıcı, tablet PC üzerinde serbest el ile daha yaratıcı ve özgün zihin haritaları oluşturabilmektedir. Ayrıca oluşturulan zihin haritası üzerinde düzenlemeler de yapılabilmektedir.

Lin ve Shih [2009] ise endüstri mühendisliğinde zihin haritalama yönteminin en verimli nasıl uygulanabileceği üzerinde çalışmışlardır. Ankete dayalı yapılan bu çalışmada en etkili yöntem olarak çizgi, kelime ve resimlerin bütünleşik kullanılması; en fazla üç farklı renk olması ve takım halinde çalışılması sonucuna ulaşılmıştır.

Eggermont ve ark. [2010], mühendislik tasarım eğitiminin daha etkili yapılabilmesi için zihin haritalama yönteminden faydalanmışlardır. İşlem olarak; çeşitli küçük tasarım projeleri belirlenmiş, bir grup öğrenci oluşturulmuş, öğrenciler bu problemlere yönelik her tasarım aşamasını kavram haritalarıyla birkaç kez uygulamıştır. Bu yöntem tekrarlandıkça tasarım öğrencilerinin proje yönetim

yeteneklerinin arttığı ve ortaya çıkan kavram haritalarının daha kaliteli olduğu sonucuna varılmıştır.

Kavramsal tasarımda zihin haritalama yönteminin kullanımı Chen [2008] tarafından araştırılmıştır. Chen, zihin haritalama yöntemiyle tasarım süresinin önemli derecede kısaldığını belirlemiştir. Örnek olarak, Boeing firması Boeing 747 projesi için 6 yıl tasarım süresi ön görmüştür. Zihin haritalama yöntemi kullanılarak bu proje 6 ay gibi kısa bir sürede tamamlanmıştır.

Salah ve Abdalla [2011] kavramsal tasarımı sürecini daha verimli hale getirmek için birçok yaratıcı problem çözme (beyin fırtınası, zihin haritalama, analoji) ve bilgi temsil yöntemlerinden oluşan bilgi tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistemin web tabanlı bir yazılımla uygulaması yapılmıştır. Bu uygulama ile tasarımcılara ağ üzerinde disiplinler arası çalışma, önemli çelişkileri önceden giderme, yaratıcı çözümler bulma ve seçme gibi birçok avantaj sağlamışlardır.

Zihin haritalama, yaratıcılığı ve kolay anlamayı teşvik etmesine karşın bazı dezavantajlara sahiptir. Bunlar:

- Sistematik bir yol izlemez.
- Standart tasarım çıktıları oluşturmak, arşivlemek ve yeniden kullanmak güçtür.
- Yenilik ve yaratıcılık düzeyleri değişkendir.

4.3. Sinektik

Sinektik yöntemi George M. Prince ve William J. J. Gordon [Gordon, 1961] tarafından 1950'lerde geliştirilmiştir. Yöntem, beyin fırtınasında olduğu gibi bir probleme grup çalışmasıyla çözüm aramaya dayanır. Daha çok aşamadan oluşması ve genellikle eğretileme (metafor) ve analojilerden faydalanması, beyin fırtınasından ayrılan özellikleridir. Sinektik yöntemi problem sahibi, lider ve farklı disiplinlerden

oluşturulmuş bir ekip vasıtasıyla uygulanmaktadır. Sinektik yönteminin genel işleyişi aşağıda adımlar halinde özetlenmiştir.

1. Problem sahibi çözülmesini istediği problemi açıklar ve bir tanım yapar.
2. Problem çözme grubu probleme uygun çözüm önerileri sunarlar.
3. Lider, çözüm önerilerini listeler ve bunlardan en ilginç olanlarını problem sahibinden seçmesini ister.
4. Seçilen çözüm ifadeleri probleme ait alandan farklı bir alanda olmalıdır. Örneğin makine alanındaki problemi botanik alanında benzeştirmek gibi. Böylece daha yaratıcı çözümlere ulaşılabileceği varsayılır. Burada analojilerden faydalanarak çözüme daha hızlı gidilebilir.
5. Problem çözme grubu, farklı alanlardaki çözümlerini gerçek probleme uyarlayıp birden fazla çözüm önerisinde bulunurlar.
6. Lider yeni çözüm önerilerini listeler ve bunlardan problem sahibini tatmin eden en iyi çözümü tercih etmesini ister.
7. Tercih edilen çözüm ile ilgili oluşabilecek sorunlar, geliştirmeler belirlenir.
8. Son geliştirmeler yapılarak çözüm kesinleştirilir.

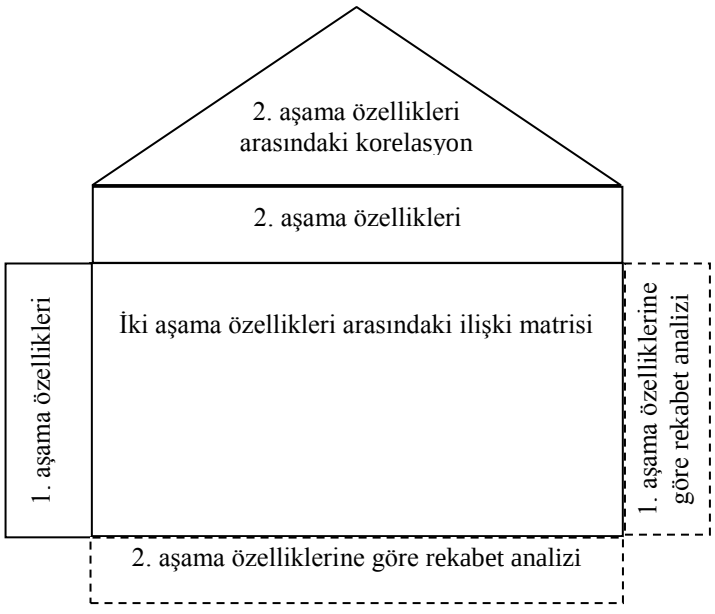
Sinektik yöntemi, doğrudan ürün ve bileşenlerini tasarlamada ve yeni ürünler geliştirmede daha faydalı olmaktadır [Tang ve ark., 2012]. Ayrıca analoji temeline dayanan sinektik yöntemi kavramsal tasarımda yenilikçi fikirleri üretmede önemli katkılar sağlayabilir [Chan ve ark., 2011].

Buna karşın birkaç dezavantaja sahiptir. Bunlar:

- Tasarımı fonksiyon-davranış-yapı kapsamlı yürütmede verimli olmayabilir.
- Çok fazla adım içerdiği için çözüme ulaşmak çok zaman alır.
- Ekibin eğitimli, tecrübeli olması gerekir.

4.4. QFD (Kalite Fonksiyon Yayılımı)

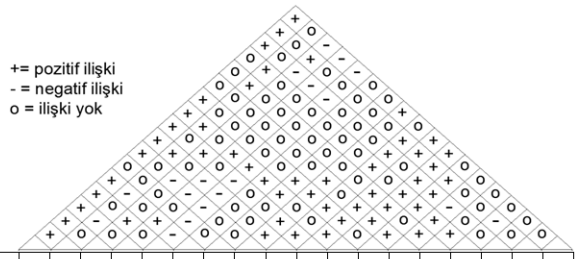
Artan müşteri ihtiyaçları ve hızlı gelişen teknolojiler tasarım faaliyetlerini karmaşık bir süreç haline getirmiştir. Kaliteli bir ürün için bu süreçte müşteri ihtiyaçlarının ürün geliştirme sürecine en etkin şekilde dâhil edilmesi gerekmektedir. QFD (Kalite Fonksiyon Yayılımı) bu amaca en uygun tasarım yöntemlerinden biri olup özellikle endüstride yaygın kullanılmaktadır. Yoji Akao tarafından 1966'da Japonya'da geliştirilen bu yöntemin ürün geliştirme süresini 1/2 ve 1/3 oranında kısalttığı kanıtlanmıştır [Akao, 1990]. QFD genel olarak ürün planlamadan üretim işlemlerine kadar tüm aşamalarda müşteri merkezli kalite yayılımı sağlar. Bu amaçla da kalite evi adlı bir grafik analiz aracı kullanır. Kalite evi herhangi iki ürün tasarım aşamasında kullanılmaktadır. Örneğin ürün planlama (müşteri ihtiyaçları) ve kavramsal tasarım aşamaları (tasarım parametreleri) arasında kullanılacak kalite evi ilk kalite yayılım faaliyetidir. Çünkü burada müşteri ihtiyaçları sonraki aşamaya ilk defa yansıtılacaktır. Arkasından kavramsal tasarım ile şekillendirme tasarımı (parçalar, bileşenler ve sistem) arasında kalite evi kullanılabilir. Bu şekilde ürünün imalat işlemlerine kadar kalite yayılımı sağlanabilir. Genel bir kalite evinin yapısı Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Genel bir kalite evi yapısı

Kalite evinde en az dört pencere bulunmalıdır. Bunlar: 1. aşama özellikleri, 2. aşama özellikleri, 2. aşama özellikleri arasındaki korelasyon ve iki aşama özellikleri arasındaki ilişki matrisidir. Bu pencerelere ek olarak özellikle ürün planlaması aşamasında rakip ürünlere göre rekabet analizleri eklenebilir. Örnek olarak bu tez kapsamında uygulanmış bir kalite evi, Şekil 4.2'de verilmiştir. Burada müşteri ihtiyaçlarının önem dereceleri tecrübe ve kaynak araştırmasına göre 0-1 arasında belirlenmiştir. Arkasından müşteri ihtiyaçları, tasarımda kullanılacak tasarım parametreleri ile A, B, C ve D düzeylerine göre ilişkilendirilmiştir. Diğer bir ifade ile müşteri ihtiyaçlarının önem dereceleri tasarım parametrelerine dengeli bir biçimde dağıtılmıştır. Bu dağıtım sonucunda hangi tasarım parametresi daha çok önemli hangisi daha az önemli olduğu kolayca görülebilecek ve buna uygun maliyet dağılımı yapılabilecektir. Arkasından mutlak önem ve bağıl önem ağırlıklarını bulmak için gerekli matematiksel formüller kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Bunlara ek olarak tasarım parametreleri arasındaki korelasyon verilmiştir. Burada pozitif, negatif ve nötr (yok) olmak üzere üç tür ilişki tanımlanmış ve bunlara göre de bir karşılaştırma yapılmıştır. Örneğin ağırlık ile filtreleme alanı arasında negatif bir ilişki vardır. Filtreleme alanı arttıkça ağırlıkta artacaktır. Bu çelişkilerin önceden çözülmesi ve bu doğrultuda tasarımların yapılması ürün maliyetini ve tasarım süresini azaltacaktır.



	Önem derecesi (0..1)	Fn= A, B, C, D A=9, B=5, C=3, D=1	Tasarım parametresi	Modülerlik	Ağırlık	Bulanıklık	Filtreleme alanı	Filtreleme derecesi	Filtreleme debisi	Filtreleme sürekliliği	Temizleme süresi	Enerji tüketimi	Verimlilik	Malzeme seçimi	Otomatik temizleme	Emniyet	Basitlik	İnsan ve çevre uyumu	Çalışma basıncı	Çalışma sıcaklığı	Su tüketimi
No	W_{Gn}	Müşteri ihtiyaçları		TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18
G1	0,9	Çok amaçlılık		A			C	C	C					C					C	C	
G2	0,6	Ergonomik			A				C						B		B	A			
G3	1	Minimum ağırlık		A	A							B		B	D		A	A			D
G4	1	Berraklık				A		A					B	C	A				B	C	
G5	1	TOC ve SDI				A		A			B	A	A	B	A				B	C	
G6	0,8	Filtreleme alanı		C			A		A	A	A		A	C			D				
G7	1	Filtreleme derecesi		C		A		A			B	A	A	A	B		D		B	B	C
G8	0,8	Filtreleme debisi		A			A	A	A		B	C	B	D	B				C		C
G28	0,8	Kurulum maliyeti		A	A											B	A	B			C
G29	0,8	Çalışma/bakım maliyeti		B	A						A	A		B		A	A	C			B
Mutlak önem $W_{TP}(n)=\prod_{n=1}^{n} W_{Gn}.F_n$				69,6	87,4	36	17,1	36,9	21,9	25,2	78,4	56	46,2	85,7	88,2	55,8	81,6	72,8	38,1	29,9	52,2
% Bağıl önem $\%M_n=\frac{W_{TP}(n)}{\sum_{n=1}^{n} W_{TP}(n)}.100$				7,11	8,93	3,68	1,75	3,77	2,24	2,57	8,01	5,72	4,72	8,75	9,01	5,7	8,34	7,44	3,89	3,05	5,33

Şekil 4.2. Su filtre tasarımı için örnek bir kalite evi uygulaması

4.5. TRIZ

4.5.1. Giriş

Bilimsel ve teknolojik araştırma ve geliştirmelerin amacı insanoğluna daha rahat, kaliteli ve müreffeh bir yaşam sunmaktır. Bu çabalar da özellikle son birkaç asırlık zaman diliminde daha yoğun ve sistematik bir şekilde sürmektedir. Yeni ve gelişmiş teknolojilere sahip ülkeler ise diğerlerine karşı ekonomik ve siyasal açılardan üstünlük kurmakta, çeşitli taleplerini kabul ettirebilmekte ve dünya kaynaklarını daha fazla kullanabilmektedirler. Bu çerçevede ülkelerin rekabete verdiği önem günden güne artmaktadır.

Son yıllarda rekabetin hızlı artması sonucu kuruluşlar; hızlı tasarım, kalite ve güçlü rekabet amacıyla yenilikçi/yaratıcı yaklaşımlara yönelmişlerdir. Bu yaklaşımların başında Altı Sigma, TRIZ, Beyin Fırtınası vb. gelmektedir. Bunlardan en popüler ve yaygın TRIZ'dir. TRIZ[1]; Rus mühendis ve bilim adamı Genrich Altshuller tarafından geliştirilmiştir. TRIZ'in gelişimi, 1946'dan günümüze kadar sürmüştür. 1946'dan itibaren Altshuller ileri düzeyli birçok patenti incelemiş, çözümleri analiz etmiştir [Altshuller, 1996]. Altshuller yaptığı incelemeler sonucunda patentlerin dayandığı bilimsel gelişim temellerinin rastgele olmadığını tam aksine bunların birçok ilke ve kurala dayandığını tespit etmiş ve şu aksiyomu ifade etmiştir: "Tüm teknik sistemlerin gelişimi, objektif yasalar tarafından yürütülür" [Altshuller, 2005]. Altshuller bu kural ve ilkelerin (Çelişki Matrisi-40 Temel İlke, İdeallik Yasası, Teknik Gelişim Aşamaları vb.) hepsine birden TRIZ ismini vermiştir. Etkin bir şekilde TRIZ kullanılarak yaratıcı çözümler daha hızlı ve kolay bulunabilmektedir. Yani; "ilham için yıllarca beklemek yerine aynı problem TRIZ ile 15 dakikada çözülebilir" [Altshuller, 2005]. Ayrıca Altshuller yenilik seviyelerine göre patentleri sınıflandırmıştır. Çizelge 4.1'de patent yenilik seviyeleri, yüzde oran ve kapsamları verilmiştir. İncelenen patentlerin % 77'si 1. veya 2. yaratıcılık seviyesindedir. Bunun yanında; Altshuller, düşük düzeyli çözümlerin TRIZ metodolojisi ile 3. ve 4. yaratıcılık seviyesine yükseltebileceğini ifade etmiştir.

Çizelge 4.1. Yenilik düzey ve kapsamları [Altshuller, 2005; INSA, 2006]

Yaratıcılık seviyesi	Kapsam	% Patent
1	Basit teknik sistem geliştirme. İlgili sektör bilgisi ile çözülür.	% 32
2	Teknik çelişki çözümü. Aynı endüstride farklı alan bilgilerine dayanır.	% 45
3	Fiziksel çelişki çözümü. Başka endüstri bilgileri ile çözülür.	% 18
4	Yeni bir teknoloji. Farklı bilim dalı bilgileri gerektirir.	% 3.7
5	Olağanüstü yeni bir buluş. Mevcut teknolojiyi daha üst düzeye çıkarır.	% 1.3

TRIZ metodolojisinin ne kadar önemli ve yararlı olduğu birçok otorite tarafından kabul edilmiştir. TRIZ kullanan şirketlerin bazıları şunlardır: BMW, Boeing, General

[1] TRIZ: Теория решения изобретательских задач (Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch) - Rusça
TIPS: Theory of Inventive Problem Solving - İngilizce

Motors, Samsung ve IBM [INSA, 2006]. Ayrıca pek çok araştırmacı TRIZ'e dayalı araştırma çalışması yapmış ve halen yapmaktadır.

Benzer yaklaşımları karşılaştıran bir çalışmada TRIZ'in diğerlerinden daha güçlü ve etkili bir metodoloji olduğu vurgulanmaktadır [Changqing, 2005]. Aynı doğrultuda bir tespit Rantanen [2002] tarafından da yapılmaktadır. Butdee ve ark. [2008], otobüs gövde tasarımında TRIZ kullanmışlar; böylece malzeme tasarrufu, üretim maliyet ve süresinde önemli iyileştirmeler elde etmişlerdir.

İlerleyen yıllarda Altshuller, öğrencileri, arkadaşları ve diğer takipçileri 1990'yıllara kadar TRIZ'i geliştirmeye devam etmişlerdir. 1998'de Alsthuller'in vefatından sonra TRIZ'in gelişimi takipçileri tarafından günümüze kadar sürmüş olup halen çalışmalar devam etmekte ve bu metodolojiye ilgi günden güne artmaktadır.

4.5.2. TRIZ'in tarihçesi

TRIZ; yaratıcı, yenilikçi ve özgün problem çözmeyi amaçlayan bir metodolojidir ve önceki SSCB'de yaşamış bir patent uzmanı olan Genrich Altshuller tarafından geliştirilmiştir [Altshuller, 2005]. Altshuller, 1945-1946 yıllarında Bakü'de Deniz Kuvvetleri Komutanlığına bağlı bir patent bürosunda çalışmış, patent başvurularını değerlendirmiştir. Ayrıca gelen buluşları değerlendirmede mucitlere de yardımcı olmaya çalışmıştır. Bu amaçla tüm bilimsel kütüphaneleri araştırmış, çok basit düzeyde dahi bir yöntem kitabı bulamamıştır. Bu yıllarda buluşlar genelde kazaen**,** deneme yanılma yöntemi veya kişisel yeteneklere bağlı oluyordu. Yani; yaratıcılık/mucitlik için bir metodoloji olmadığını fark etmiştir. Yine Altshuller, buluş/yaratıcılığın bazı ilkeler yardımıyla çeşitli çelişkileri ortadan kaldırmaktan başka bir şey olmadığını anlamıştır. Bunun üzerine birçok patent incelemiş, bunların ortak özellik ve geliştirme/çözüm mantığını anlamaya çalışmıştır. Böylece TRIZ alanındaki ilk önerilerini ortaya koymuştur. Arkasından SSCB Devlet Başkanı Stalin'e bir mektup yazarak teorisini ve bunun ülke kalkınmasına önemini anlatmaya çalıştı. Ancak, 1948 yılında tutuklanmış, işkenceye maruz kalmış ve 25 yıllık hapis cezasına çarptırılmıştır.

Bu dönemde Altshuller, birlikte hapis yattığı çeşitli bilim adamlarından özel dersler almış, eksiklerini gidermiş, teorisini daha da geliştirmiş ve bir maden ocağında danışmanlık yaparak teorisini uygulama imkânı bulmuştur. Stalin'in ölümü sonrası 1950 yılında serbest bırakılmış ve Bakü'ye geri dönüp, çalışmalarına devam etmiştir. Ekibiyle birlikte yaklaşık 200.000 patent inceledikten sonra 1500 dolayında çelişki olduğu ve bunların bazı ilkeler uygulanarak çözülmesinin çok kolay olduğunu anlamıştır. Sonraki yıllarda bir taraftan çeşitli makale ve kitaplarla fikir ve teorisini ulusal düzeyde tanıtmaya çalışırken; diğer taraftan da Sovyet Patent Organizasyonuna başvurarak teorisinin testi için yardım istemiştir. Uzun yıllar sonra 1959'da bu amaca yönelik bir seminer düzenlenmiş ve patent uzmanlarının takdirini kazanmıştır. Daha sonra ülke çapında 300'ü aşkın okul açılmış ve TRIZ teorisi öğretilmiştir. Konu son 30-35 yıldır batılı ülkeler tarafından bilinmekte olup bu amaçlı 70'in üzerinde İngilizce kitap yayınlanmıştır.

4.5.3. TRIZ Felsefesi

TRIZ metodolojisine göre bir sistemde belirli bir parçanın geliştirilmesi diğer bir parçayla çelişmektedir. Bu süreç çelişen parçanın geliştirilmesiyle devam eder ve böylece mükemmele yaklaşılır. TRIZ temelleri aşağıdaki kavramlara dayanmaktadır:

- Kaynaklar
- Mükemmellik yasası
- Çelişkiler

<u>Kaynaklar</u>

Bir problemden mükemmel çözüme gidebilmek için önce problemin çevresi ve içinde yer alan her kaynaktan faydalanmak gerekir [Rantanen 2002]. Bu kaynaklar: enerji, bilgi, sinyal, malzeme, boşluk, yapı olabilir. Örnek olarak ısıtma pompalarında toprak, yer altı suyu, hava ve atık ısı mükemmel çözüme yaklaşmada kullanılacak kaynaklardır.

Mükemmellik yasası

Bir sistemin mükemmel olabilmesi için bunun:

- çalışma ömrü boyunca daha güvenilir, basit ve etkili olması,
- ortamda atıl halde ve kullanılabilir kaynaklarda en yüksek düzeyde yararlanması ve
- yeni bir mekanizma eklenmeden fonksiyonunu yerine getirmesi gerekir.

Bu kurallar, TRIZ'de "Mükemmellik yasası" olarak tanımlanmıştır. Bir sistemi mükemmel seviyeye taşımak için aşağıdakilere benzer hususlar uygulanabilir [Altshuller, 2005]:

- Sistemdeki fonksiyon sayısını artırmak. Örneğin; cep telefonlarına kamera, müzik, radyo vb. birçok fonksiyonun eklenmesi vb.
- Sistemde son eylemi gerçekleştiren çalışma elemanına mümkün olduğunca çok fonksiyon yüklemek. Örnek olarak kontrol kalemi ucunun hem tornavida hem de elektrik kontrolü (kontrol kalemi) amacıyla kullanılması gibi.
- Sistemin bazı fonksiyonlarını süper sistem veya dış ortama taşımak. Örneğin; bisiklet tekerleğine monte edilen dinamo ile seyir halindeki aydınlatma için elektrik enerjisi üretmek gibi.
- Mevcut ve elverişli iç ve dış kaynaklardan faydalanmak. Örneğin; ısı pompalarında hava, su ve toprak gibi doğal kaynakların kullanılması gibi.

Çelişkiler

Çelişki, genelde teknik sistemde bir parametre iyileştirirken diğer parametrenin kötüleşmesi veya bir parametrenin hem olması hem de olmaması şeklinde oluşur. Örneğin motor gücünü artırmak istediğimizde sistemin ağırlık, hacim ve maliyet açılarından artması tipik bir çelişkidir. Geliştirilen bir sistemin çelişki seviyesi bu

sisteme ait zorluk derecesini, dolayısıyla yaratıcılık seviyesini belirtir. TRIZ yaklaşımına göre çelişkiler: teknik ve fiziksel olarak ikiye ayrılır.

a) Teknik çelişki, teknik sisteme ait kritik parametrelerden birini iyileştirmeye çalışırken diğer parametrenin kötüleşeceği haldir. Örneğin bir motorda gücü artırmak (iyileşecek/istenen parametre), boyut artışına da (kötüleşen/arzulanmayan parametre) neden olabilecektir. Diğer bir örnek olarak ağırlığı azaltmak için parça kesitini küçültmek, dayanım azalması gibi bir çelişki ortaya çıkartır. Teknik çelişkiler genellikle TRIZ'in en güçlü ve yaygın kullanılan araçlarından birisi olan 40 temel ilke-Çözüm matrisi ile çözülebilmektedir.

b) Fiziksel çelişki, teknik bir sistemde aynı parametre veya teknik sistemin kendisiyle çelişmesi sonucu ortaya çıkar. Örneğin bir torna tezgâhının kurulup çalıştırılması için belirli bir ağırlığa sahip olması gerekir. Bunun yanında montaj, yer vb. zorluklardan dolayı da ağır olmaması istenir. Yani bunun hem ağır olması hem de olmaması gerekir. Uçaklardaki iniş takımlarının inerken açılması, kalkarken kapanması da sistemin olması ve olmaması çelişkisine bir örnek olabilir. Fiziksel çelişkileri çözmede [Orloff, 2006]: zaman, mekân, yapı (parça-bütün ilişkisi) ve koşullara (malzeme vb.) göre ayırma yöntemleri kullanılabilir.

Zamana göre ayırma: çelişen eylem ya da nesneye farklı veya geçici çalışma zamanı atanır. Kavşaklarda geçiş sırasını trafik lambaları ile sağlamak, otomobillerde optimum motor devrine ulaştıktan sonra vites değiştirmek örnek olarak verilebilir.

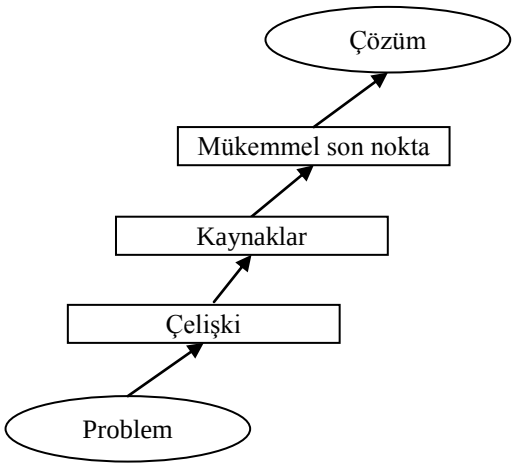
Mekâna göre ayırma: çelişen eylem ya da nesne farklı mekânlarda yapılır. Örneğin yayalar için üst geçitler, yedek araba lastiğinin minimum yer kaplaması için gövdede ona uygun boşluk, oyuk oluşturmak gibi.

Yapıya göre ayırma: bir nesneden iki zıt davranış beklendiğinde parça-bütün ilişkisi çerçevesinde çelişki çözülür. Örneğin birçok çelik telin helisel olarak sarılmasıyla çelik halatlar elde edilir. Çelik tel, parça halinde zayıfken bütün içinde sağlam hale gelir. Böylece çelik telden istenilen hem esnek hem de dayanıklı olma özelliği

sağlanmış olur. Diğer bir örnek ise kaza anında insanların daha az zarar görmesini sağlayan hava yastıklarıdır. İnsanlara zarar vermeyecek kadar yumuşak aynı zamanda onların çarpmalarını engelleyecek kadar sert olmalıdır [Orloff, 2006].

Koşullara (malzeme vb. kaynaklar) göre ayırma: bir nesne veya eylemden zıt özellikler göstermesi beklendiğinde, malzeme vb. gibi kaynaklardan faydalanılır. Örneğin güneşli havalarda ışık yoğunluğuna bağlı saydamlığı değişebilen klormatik güneş gözlükleri kullanılır. Burada iki cam yerine tek cam kullanılarak farklı özellikler elde edilir. Başka bir örnekte ise fotoğraf makinelerinde kırmızı göz düzeltme amacıyla asıl flaş öncesi ön flaş gönderilerek göze biyofiziksel temas sağlamak ve böylece göz bebeğini küçültmek amaçlanır [Orloff, 2006].

Rantanen [2002], temel TRIZ kavramlarını esas alan mükemmel bir çözüme ulaşma işlemi önermiştir. Bu işlem Şekil 4.3'de verilmiştir. Burada önce mevcut çelişkiler belirlenir. Sonra problem alanında bulunan faydalı kaynaklar araştırılır. Gerekirse kapsamlı bir kaynak analizi yapılır. Mevcut kaynaklar kullanılarak çelişkiler çözülmeye çalışılır. Çelişkilerin doğrudan çözülmemesi halinde mükemmel çözüm tanımı belirlenir ve çeşitli araçlar (çözüm matrisi, madde-alan analizi vb.) vasıtasıyla mükemmele en yakın çözümler aranır.



Şekil 4.3. Mükemmel çözüme ulaşma işlemi [Rantanen, 2002]

4.5.4. TRIZ Araçları

Uzun dönemli araştırma ve geliştirme çalışmaları sonucunda bazı TRIZ araçları ortaya çıkmıştır. Bu araçlar sadece teknik problem çözümlerinde değil aynı zamanda bu çözümlerin daha özgün, yeni ve etkin olmasında da çok faydalıdırlar. Önemli TRIZ araçları şunlardır:

a) Standartlar ve Madde-Alan (su-field) Analizi
b) ARIZ (Yaratıcı Problem Çözme Algoritması)
c) Özel Etkiler (fiziksel, kimyasal vb.)
d) 40 Prensip ve Çelişki Matrisi

Standartlar ve Madde-Alan (su-field) Analizi

Standartlar

Standartlar; teknik sistemleri analiz, sentez, iyileştirme ve geliştirilme işlemlerine tabi tutmak amaçlı kurallardır. Bunlar, 76 standart çözüm olarak ta anılır. Standartlardan faydalanmadan önce problemin modellenmesi gerekir. Standart çözümler, madde-alan analiziyle oluşturulmuş modellere dayanır ve bu analiz ile birlikte kullanılır ve öğretilir. Standart çözümler, Altshuller ve ark. tarafından 1975-1985 yılları arasında derlenmiş olup beş sınıfta toplanmıştır [Domb ve ark., 1999; Altshuller, 2005]. Çizelge 4.2, sınıflandırılmış toplam 76 standart çözümü göstermektedir.

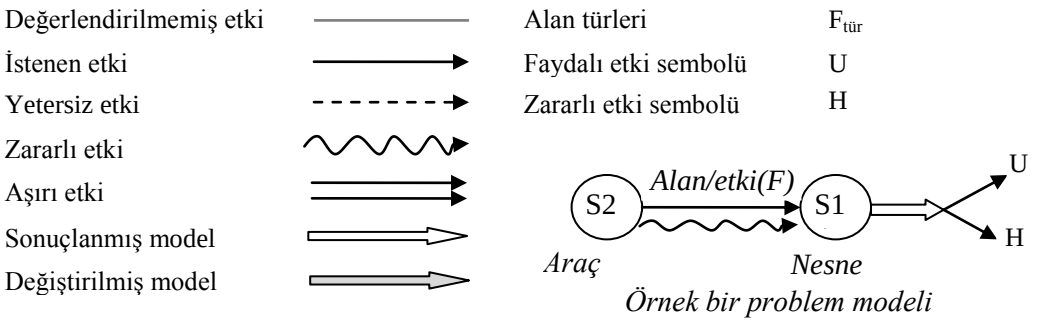
Çizelge 4.2'den Altshuller ve Domb'un standart çözüm sınıflamalarının birbirini tamamlar nitelikte olduğu görülebilir. Standart çözümlerin tamamı oldukça geniş kapsamlı olduğundan burada sadece genel bilgileri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Standart Çözümler [Altshuller, 2005; Domb ve ark., 1999]

Sınıf	Kapsam/Domb ve ark.'a göre	Kapsam/Altshuller'e göre	Önerilen çözüm sayısı
1	Değiştirmeden veya biraz değişiklik yaparak sistem geliştirme	Madde-alan modeli oluşturma veya kaldırma	13 standart çözüm
2	Değişiklikler yaparak sistem geliştirme	Madde-alan modeli geliştirme	23 standart çözüm
3	Sistem geçişleri	Temel sistemden mikro düzey veya süper sisteme geçişler	6 standart çözüm
4	Saptama ve ölçümler	Teknik sistemdeki herhangi bir şeyin ölçme veya saptama	17 standart çözüm
5	Basitleştirme ve iyileştirme stratejileri	Teknik sisteme ait madde veya alanın şeklini belirleme	17 standart çözüm

Madde-alan analizi

Madde-alan analizinin amacı birbiriyle alakalı iki hususu içerir. Bunlardan ilki, teknik bir sistemde yer alan sorun veya geliştirilmesi gereken bölgeyi büyüteç altına almaktır. İkincisi ise tespit edilen sorunlu bölgeye ait madde/elemanları ve etkileşim içinde oldukları alanı/etkiyi belirlemektir. Burada maddeler; ilişkili sorunu oluşturan araç (nesneyi etkiler) ve nesne (ürün veya teknik sistem olabilir) anlamına gelir. Alan ise aracın nesneye uyguladığı kuvvet, enerji gibi bir etkidir. Bu etki; nükleer, kimyasal, mekanik, ısıl, elektronik, akustik, ışık vb. bir alan türü olabilir. Sonuç olarak çalışan teknik bir sistem veya buna ait sorun değinilen üç elemandan (araç, nesne ve alan) oluşmalıdır. Bir probleme ait madde-alan modelini oluşturmada standart bir grafik dili kullanılır. Madde-alan modelinde kullanılan grafik ve metinsel standart semboller, Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



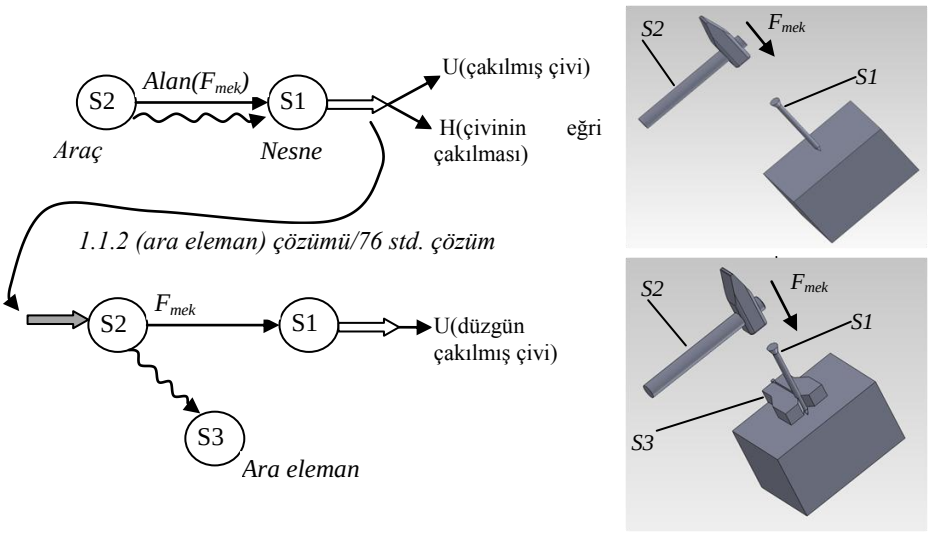
Şekil 4.4. Madde-alan modelinde kullanılan standart semboller [Terninko, 2000]

Madde-alan analiz işlemi aşağıda verilen sırada yürütülür [Terninko, 2000]:

1. Sistemi oluşturan elemanlar belirlenir: Önce, problemin özü veya çelişki belirlenir. Sonra problemde yer alan araç, nesne ve aralarındaki etkileşim türü (alanı) saptanır.
2. Madde-alan modeli oluşturulur: Araç, nesne ve alana ait grafik model oluşturulur. Bunun sistem oluşturma özelliği, tamlığı ve etkinliği değerlendirilir. Eğer anılan modelde eksik bir eleman varsa, bu eksiklik belirlenip giderilmeye çalışılır.
3. 76 standart çözüm kullanılarak problem modeline uygun çözümler araştırılır: Problem modeline uygun çözümler standart çözümler arasından araştırılır ve optimum bir çözüm seçilir. Gerekirse bilgi tabanlı araçlardan da faydalanılır.
4. Son çözüm kavrama dönüştürülür: Seçilen çözüm iteratif bir şekilde geliştirilir, daha somut ve uygulanabilir bir düzeye getirilir.

Basit bir örnekle (çivi çakma işlemi) madde-alan analizinin kullanımı incelenirse, bu işlem şu şekilde yapılır:

1. Sistem elemanlarını belirleme: Çivi çakma işleminde temel sorun çivinin dik olarak zemine girmesi ve çakılmasıdır. Önemli sistem elemanları ise çekiç (araç), çivi (nesne) ve çekiç kuvveti (etki) olarak belirlenir.
2. Madde-alan modeli oluşturma: S2 ile belirtilen çekiç, S1 ile belirtilen çivi üzerine mekanik bir kuvvet (F_{mek}) etki ettirir. Sonuç olarak problem modeli tam ama etkili değildir. Çünkü çiviyi zemine dik tutmak ve çakmak zor olabilir. Bu da istenmeyen bir etkidir.
3. 76 standart çözüm dikkat alınarak problem modeline uygun çözümler araştırma: 76 standart çözüm incelendiğinde, "Sistem değiştirilemez sadece sürekli veya geçici katkı maddesi-ara eleman kabul edilebilir (1.1.2)", en uygun standart çözüm olarak kabul edilmiştir.
4. Son çözümü kavram haline getirme: 1.1.2 numaralı çözüm dikkate alınarak S2 ve S1 arasındaki olumsuz etki bir ara eleman kullanılarak ortadan kaldırılmıştır. Açıklanan bu adımlar, Şekil 4.5'te bir grafik dili kullanılarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Madde-alan analizi ile problem modeli oluşturma ve çözümü

Madde-alan analizi, sadece bileşen düzeyinde değil sistem düzeyinde de uygulanabilir. Burada problemin özünü belirleme önemlidir. İyi formüle edilen problemin çözümü daha kolay olur. Bu analizle teknik problemler çözülebilir veya teknik sistemler geliştirilebilir.

ARIZ

En güçlü TRIZ araçlarından biri olan ARIZ, özellikle karmaşık sistem çözümlerini belirli bir sıra ve bazı adımlarda ele alan analitik bir yöntemdir [Altshuller 2005]. TRIZ gibi ARIZ de çeşitli zamanlarda sürekli geliştirilmiş ve daha mükemmel bir hale getirilmiştir. Bu amaçlı son çalışmalardan biri 1985 yılında tamamlanmış ve ARIZ-85C geliştirilmiştir. Bu düzenleme ise çok kapsamlıdır ve burada kısaca tanıtılacaktır. ARIZ-85C, 9 adımdan oluşmaktadır.

1. Problem analizi

Belirsiz tanımlanmış problem ifadeleri kullanılarak genel ve basit problem tanımı yapılır. Örneğin sistemde yer alan teknik çelişkiler incelenir. Bunlardan problemin özünü oluşturanlar baz alınarak problem tanımı oluşturulur.

2. Problem modelinin analizi

Çelişki bulunan çalışma bölgesi en dar kapsamda belirlenir. Sonra mevcut tüm kaynaklar araştırılır ve değerlendirilir.

3. İdeal Son Çözüm (IFR) formülasyonu

Teknik çelişkiden fiziksel çelişkiye geçiş yapılır. Önceden belirlenmiş kaynaklar dikkate alınarak genelde problem çözülür. Eğer ilk üç adımda çözüm elde edilebilirse doğrudan 7, 8 ve 9. adımlara geçilebilir.

4. Dış madde ve alan kaynaklarından faydalanma

Eğer problem ifadesi halen açık değilse "küçük minyatür adam" modeli uygulanır. Böylece problem daha iyi anlaşılabilir.

5. Bilgi veri bankasından faydalanma

Standart çözümler ve fiziksel etki veri tabanı birlikte kullanılarak problem çözülmeye çalışılır.

6. Problemi değiştirme veya yeniden tanımlama (formüle etme)

Problem hala çözülmemişse, ARIZ yönteminde, başlama noktasına dönülür ve süper sistem şeklinde bu yeniden tanımlanmalıdır. Bu döngü birkaç defa tekrarlanabilir. Bundan sonraki adımlar bir çözüm bulunduğunda uygulanır.

7. Fiziksel çelişkiyi giderecek yöntem analizi

Burada bir çözüme ait kaliteyi kontrol etmek amaçlanır. Yani; "fiziksel çelişkinin en ideal şekilde kaldırılması" sorgulanır.

8. Bulunan çözümden faydalanma

Bu adımda etki analizleri vasıtasıyla yeni sistemin bağlı olduğu diğer sistemlerle olan ilişkiler sorgulanır.

9. Çözüme yönelik ARIZ adımlarını analiz

Bu adım, problemi çözecek gerçek süreç ile ARIZ'in önerdiği sürecin karşılaştırıldığı bir kontrol noktasıdır. Ayrıca burada olası sonraki kullanım sapmaları analiz edilir.

ARIZ; genelde birçok kez tekrarlanması gereken adım içeren, uygulanması uzun zaman alan ve kesin doğru sonucu veren analitik bir araçtır. Bu nedenlerden ötürü de basit problem çözümlerinde önerilmez. Bu yöntem, karmaşık ve zor problem çözümlerinde kullanılmalıdır.

Özel Etkiler (fiziksel, kimyasal vb.)

Özellikle madde-alan analizi ve ARIZ'de sıkça kullanılabilecek "özel etkiler" hakkında fiziksel, kimyasal ve geometrik etkiler başlığı altında birçok çizelge hazırlanmıştır. Bu çizelgeler herhangi bir problem çözme veya teknik sistem geliştirme sürecinde çözümleri somut şekle dönüştürmede oldukça faydalı olacaktır. Ayrıca özel etkiler, 76 standart çözüm ve 40 temel prensipten en yüksek fayda elde etmek için güvenilir ve daha hızlı sonuç elde edecek bir veri tabanı oluşturmak gerekebilir. Orloff'un kitabında [2006], özel etkilerin ayrıntıları sunulmuştur. Daha fazla bilgi için ilgili kaynağa bakılabilir.

40 Prensip ve Çelişki Matrisi

40 prensip, TRIZ'in en güçlü ve popüler araçlarından biridir. Altshuller'in uzun incelemeler sonucunda geliştirdiği 40 prensip, yapı itibariyle standart çözümlere benzemekte olup kapsam itibariyle standart çözümlerden daha geniştir. Sadece

mekanik çözümlere değil mekanik olmayan birçok alana da uyarlanabilir. 40 prensip temelde iki amaç için kullanılmaktadır:

1. Problemin üstesinden gelmek için özel bir durum veya sistemin kavramsal veya güncel olarak nasıl değiştirileceğine kılavuzluk eder.
2. Ayrıca prensipleri tüm çalışma alanlarına uygulanabilen kalıp setleri olarak göstererek kullanıcıları analojik düşünmede eğitir, geliştirir.

İncelenmiş patentlerin ve teknik sistemlerin çelişkileri dikkate alınarak bu çelişkileri oluşturan toplam 39 temel mühendislik parametresi belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Çizelge 4.4'te ise 40 temel prensip verilmiştir. Mühendislik parametrelerinin çelişmesiyle oluşan teknik çelişkilerin çözümüne yönelik en uygun prensipler bir "çelişki matrisi" kullanarak oluşturulmuştur. Şekil 4.6'da çelişki matrisinin bir kısmı gösterilmiştir. Çelişki matrisinde satırlar ve sütunlarda mühendislik parametreleri bulunmaktadır. Parametrelerin çakışma noktalarında ise en uygun prensipler vardır.

Çizelge 4.3. Mühendislik parametreleri

1. Hareketli nesnenin ağırlığı	**2**. Sabit nesnenin ağırlığı	**3**. Hareketli nesnenin uzunluğu	**4**. Sabit nesnenin uzunluğu
5. Hareketli nesnenin alanı	**6**. Sabit nesnenin alanı	**7**. Hareketli nesnenin hacmi	**8**. Sabit nesnenin hacmi
9. Hız	**10**. Kuvvet	**11**. Gerilim/ basınç	**12**. Şekil/biçim
13. Oluşum dengesi	**14**. Dayanıklılık	**15**. Hareketli nesnenin eylem zamanı	**16**. Sabit nesnenin eylem zamanı
17. Sıcaklık	**18**. Parlaklık	**19**. Hareketli nesnenin harcadığı enerji	**20**. Sabit nesnenin harcadığı enerji
21. Güç	**22**. Enerji kaybı	**23**. Madde kaybı	**24**. Bilgi kaybı
25. Zaman kaybı	**26**. Madde miktarı	**27**. Güvenilirlik	**28**. Ölçülerin doğruluğu
29. Üretimin doğruluğu	**30**. Nesneye dışarıdan etki eden zararlı faktörler	**31**. Nesneden kaynaklanan zararlı yan etkiler	**32**. Üretilebilirlik
33. Kullanım kolaylığı	**34**. Tamir edilebilirlik	**35**. Uyumluluk	**36**. Sistemin karmaşıklığı
37. Kontrol karmaşıklığı	**38**. Otomasyon seviyesi	**39**. Verimlilik/kapasite	

Teknik çelişki içeren yaratıcı bir problemi çözmek için kullanılacak adımlar aşağıdadır [Altshuller, 2005]:

1. Teknik sistem analizi. Geliştirilecek olan sistem karakteristiği veya sistemin performansını tanımlayan parametre belirlenir.
2. Teknik çelişkiyi açıklama. Geliştirilecek parametreye karşılık gelecek kötüleşen parametre belirlenir. Böylece teknik çelişki tespit edilir.
3. Teknik çelişki çözülür. Bu adımda 40 prensip ve çelişki matrisinden faydalanılır. 40 prensipten faydalanarak teknik çelişkiyi çözmenin iki yolu:

- En etkili prensipleri bulmak için çelişki matrisi kullanma ve
- Tüm prensipleri inceleme ve en uygun olanları tercih şeklinde belirtilebilir.

Her iki yol da genelde çözüm verir.

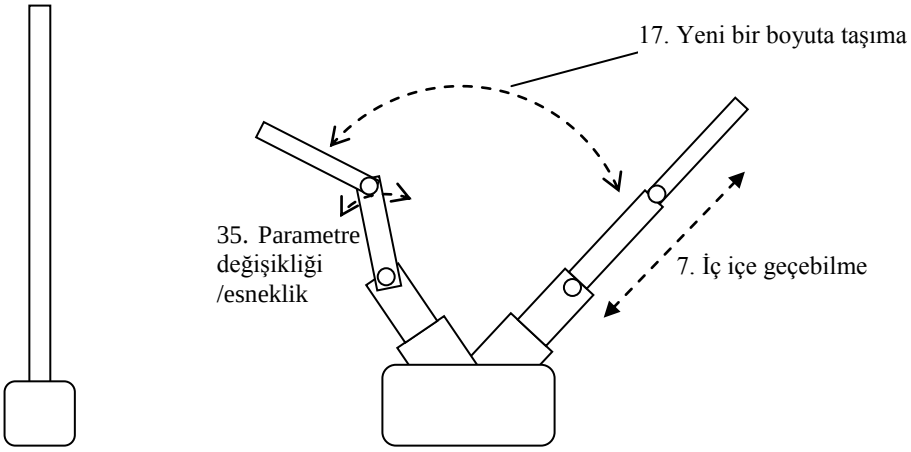
Çizelge 4.4. 40 prensip

1. Bölme / Parçalara ayırma	**2**. Ayırma, çıkarma, geri alma	**3**. Bölgesel kalite	**4**. Asimetri
5. Birleştirme	**6**. Çok amaçlılık	**7**. İç içe geçebilme	**8**. Ağırlık dengeleme
9. Önlem alma, hataları giderme	**10**. Ön eylem	**11**. Önceden güvenilirlik sağlama	**12**. Eş potansiyellilik
13. Eylemi tersten düşünme	**14**. Küresellik	**15**. Dinamiklik	**16**. Kısmi ve aşırı eylem
17. Yeni bir boyuta taşıma	**18**. Mekanik titreşim	**19**. Periyodik eylem	**20**. Faydalı eylemi sürdürme
21. Eylemi hızlı yapma	**22**. Zararı faydaya dönüştürme	**23**. Geri besleme	**24**. Ara eleman veya nesne kullanma
25. Kendi kendine hizmet	**26**. Kopyalama	**27**. İmha edilebilme (kullanıp atma)	**28**. Mekanik sistem yerine farklı sistemler kullanma
29. Pnömatik veya hidrolik konstrüksiyon	**30**. Esnek zar veya ince filmler	**31**. Gözenekli malzemeler	**32**. Renk değiştirme
33. Homojenlik	**34**. Parçaları çıkarma ve tekrar ele alma	**35**. Özellik dönüşümü (parametre değişikliği)	**36**. Hal değişimi
37. Isıl genleşme	**38**. Kuvvetli oksitlendirme/ oksijen sağlama	**39**. Nötr (etkisiz, zararsız) çevre	**40**. Kompozit malzemeler

Örneğin bir anten tasarımı için çelişki matrisi kullanıldığında, önce teknik çelişki belirlenir. Bu amaçlı teknik çelişki tanımı: "hareketli nesnenin uzunluğunu artırmak isterken hareketli nesne hacmini de artırmak" olarak belirlenir (Şekil 4.6). Bu durumda "hacim artışı" istenmeyen bir özellikse matris incelendiğinde çözüm için önerilen prensipler: 7 (içi içe geçebilme), 17 (yeni bir boyuta taşıma), 4 (asimetri) ve 35 (parametre değişikliği) olabilir. Yine burada çözüm sağlayacak en uygun prensipler "iç içe geçebilme", "yeni bir boyuta taşıma" ve "parametre değişikliği" olarak düşünülebilir. Anten tasarımı bu prensiplere göre yeniden yapıldığında, Şekil 4.7'deki tasarım elde edilir. Bu çözümler diğer prensiplerle de geliştirilebilir olup, yenilik ve yaratıcılığa açıktır.

		Kötüleşen Özellik →	Hareketli nesnenin ağırlığı	Sabit nesnenin ağırlığı	Hareketli nesnenin uzunlu	Sabit nesnenin uzunluğu	Hareketli nesnenin alanı	Sabit nesnenin alanı	Hareketli nesnenin hacmi	Sabit nesnenin hacmi	Hız
		↓ Geliştirilen Özellik	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Hareketli nesnenin ağırlığı		+		15, 8, 29,34		29, 17, 38, 34		29, 2, 40, 28		2, 8, 15, 38
2	Sabit nesnenin ağırlığı			+		10, 1, 29, 35		35, 30, 13, 2		5, 35, 14, 2	
3	Hareketli nesnenin uzunluğu		8, 15, 29, 34		+		15, 17, 4		7, 17, 4 35		13, 4, 8
4	Sabit nesnenin uzunluğu			35, 28, 40, 29		+		17, 7, 10, 40		35, 8, 2,14	
5	Hareketli nesnenin alanı		2, 17, 29, 4		14, 15, 18, 4		+		7, 14, 17, 4		29, 30, 4, 34
6	Sabit nesnenin alanı			30, 2, 14, 18		26, 7, 9, 39		+			
7	Hareketli nesnenin hacmi		2, 26, 29, 40		1, 7, 4, 35		1, 7, 4, 17		+		29, 4, 38, 34
8	Sabit nesnenin hacmi			35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14				+	
9	Hız		2, 28, 13, 38		13, 14, 8		29, 30, 34		7, 29, 34		+

Şekil 4.6. Çelişki matrisi



Şekil 4.7. TRIZ prensiplerine dayalı basit bir anten tasarımı

Örnekten görüldüğü gibi çelişki matrisi ve 40 prensip kullanılarak çözümler daha hızlı bulunabilmektedir. Ekler kısmında 40 temel prensip alt başlıklarıyla ve örnekleriyle açıklanacaktır.

Buraya kadar en yaygın problem çözme yöntemlerinden bazıları incelenmiştir. Çizelge 4.5'te bu yöntemler sistematiklik, yaratıcılık, hız, uygulama zorluğu, kapsam, bilgi kaynağı, kalite ve desteklediği KT adımlarına göre karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma bulguları kaynaklardaki bilgi ve tecrübeye dayanmaktadır.

Çizelge 4.5. Bilinen problem çözme yöntemlerinin karşılaştırılması

	SIT/USIT/ASIT	Zihin haritalama	Sinektik	QFD	TRIZ
Sistematiklik	Hayır	Hayır	Hayır	Evet	Evet
Yaratıcılık	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Hız	Yüksek	Orta	Yavaş	Orta	Yüksek
Uygulama	Kolay	Kolay	Zor	Orta	Kolay
Kapsam	Geniş	Sınırlı	Geniş	Geniş	Geniş
Bilgi kaynağı	Patentler	-	-	Müşteri istekleri	Patentler
Kalite	Yüksek	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek
Hangi KT adımlarını destekler?	Çözüm arama	Problem belirleme ve kısmen çözüm arama	Çözüm arama	Problem belirleme	Problem belirleme ve çözüm arama

Karşılaştırma çizelgesinden şu sonuçlar çıkarılabilir:

- Sistematik süreç izleyen yöntemler QFD ve TRIZ olarak ortaya çıkmıştır.
- Yaratıcılık açısından zihin haritalama diğerlerine göre daha zayıf bir yöntemdir. Bu yöntem genellikle bir konuyu kavramayı kolaylaştırır ve doğrudan çözüm bulma imkanı sunmaz.
- TRIZ tabanlı yöntemler (TRIZ ve SIT/ASIT) uygulama süresi en az olanlardır. Çünkü TRIZ doğrudan yaratıcı çözümlere yönlendirir.
- Birçok aşama içerdiği için sinektik yöntemi diğerlerine göre daha zor uygulanır.
- Kapsam, zihin haritalama yönteminde diğerlerine göre daha sınırlıdır. Çünkü bu yöntem, insan yetenek ve tecrübesine bağlı olarak uygulanır.
- Bilgi kaynağı patentlere dayanan TRIZ tabanlı yöntemler diğerlerine göre daha güvenilir ve güçlü olmaktadır. Ayrıca bilgi kaynağı müşteri ihtiyaçlarına dayanan QFD yöntemi ise kapsamlı ve güvenilir bir tasarım süreci sağlayabilir.
- Tasarım kalitesini artırmada ve kaliteli çözümlere ulaşmada TRIZ tabanlı yöntemler ve QFD ön plana çıkmaktadır.

Yukarıdaki değerlendirmeler ışığında TRIZ ve QFD'nin KT'ye önemli katkılar sunabileceği söylenebilir. Bu iki yöntemin özellikle önemli bazı KT eksikliklerini giderebileceği düşünülmüştür. Bunlar:

- Yaratıcı çözümlere ulaşabilme,
- Güçlü problem uzayı,
- Tasarım verilerinin diğer aşamalara (şekillendirme ve ayrıntılı tasarım) verimli aktarımı,
- Müşteri gereksinimlerini tasarım süresince dikkate alma (kalite yayılımı) olarak verilebilir.

5. KAVRAMSAL TASARIMDA TRIZ KULLANIMI

KT kapsamlı bir mühendislik tasarım işlemidir ve bunu uygulamak uzun zaman alır. Bu işlem sonucu teknik ve ekonomik açıdan önemli çözümlere ulaşılsa da geçen süre ve çözümlerin yenilik seviyesi geliştirilmesi gerekir. Buna karşın kar ve rekabeti amaçlayan şirketler açısından tasarım süresini en aza indirmek ve yenilikçi ürünler piyasaya sürmek çok önemlidir. Dolayısıyla KT'daki bu eksikler giderildiğinde daha hızlı ve yenilikçi bir tasarım yaklaşımı ortaya çıkacak ve bu yaklaşımı kullanan şirketlerin rekabet düzeyi artacaktır.

Bu tez çalışmasında KT'a ait yukarıda değinilen eksiklerin TRIZ ile giderilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda önce TRIZ'in hangi KT aşamalarında nasıl uygulanacağı belirlenmelidir. Daha sonra, TRIZ uygulamasının KT'ye ne tür katkı ve kazanımlar sağlayacağı değerlendirilmelidir. Tüm bu işlemler bir yöntem kapsamında ve uyum içinde olmalıdır. Çalışma kapsamında uygulanacak temel yöntem sonraki bölümde anlatılacaktır.

5.1. Yöntem

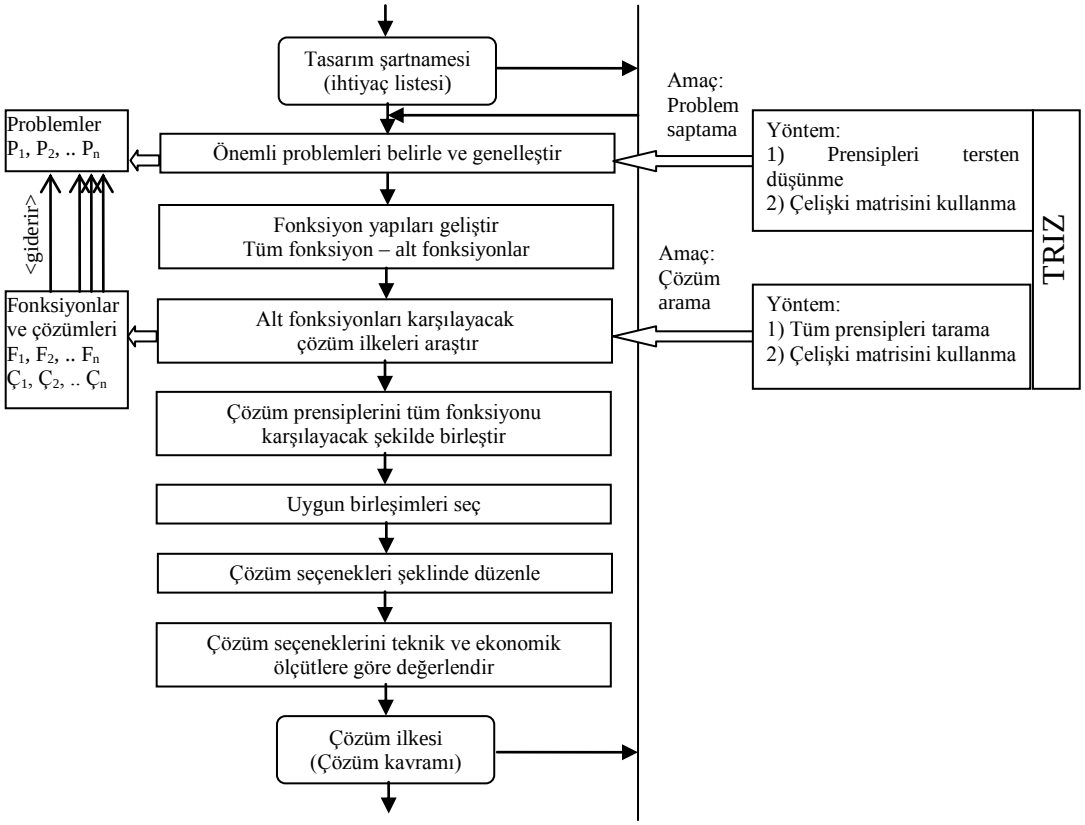
Yöntem; KT sürecinde TRIZ desteğinin nerede ve nasıl sağlanacağını göstermektedir. Burada önce hangi KT aşamalarında TRIZ uygulanabileceği belirlenir. Bunun için TRIZ'in kullanım amaçları bilinmelidir. TRIZ genelde problemleri belirlemek veya çözmek amaçlı kullanılır. Kullanım amaçları göz önüne alındığında TRIZ'i uygulamak sadece iki KT aşamasında mümkün olabilir. Bunlar: Önemli problemleri belirleme ve alt fonksiyonlara çözüm arama aşamalarıdır.

Önemli problemleri belirleme aşamasında; tasarım şartnamesi esas alınarak önemli problemler belirlenir. Bu problemler, tasarlanacak sistem/ürün/bileşeni ifade etmede ya da yenilik seviyesini yükseltmede genellikle yetersiz kalmaktadır. KT'nin problem belirlemedeki kapsam ve yenilik eksikliği, TRIZ'in problem bulucu özelliği ile giderilebilir. Bu işlem özetle şöyle yapılır: TRIZ ile önce yeni problemler taranır, arkasından önceki problem listesi güncellenir. Sonra tüm problemlerin arasındaki

çelişkiler çözülür ve yeni yaratıcı problem tanımları yapılır. TRIZ destekli yeni problem tanımları, tasarımcıyı doğrudan yaratıcı problem çözme alanına yönlendirecek olup; tasarlanacak sistemin çerçevesini daha belirgin hale getirecektir.

Alt fonksiyonlara çözümler arama aşamasında ise; tüm fonksiyon tanımı kapsamında oluşturulan önemli alt fonksiyonlara en uygun çözümler araştırılır. Çözüm araştırmada; beyin fırtınası, tasarım katalogları, kaynak araştırması gibi pek çok yöntem kullanılır. Bu yöntemler etkili çözümler verebilir. Ancak uzun çözüm bulma süresi ve arzulanan düzeyde yenilik olmaması önemli eksikliktir. Bu eksiklik, TRIZ'in güçlü problem çözme özelliği ile giderilebilir. Problem çözümünde 40 prensip, en ideal destek aracıdır. Bulunan TRIZ destekli çözümler, geliştirilen sisteme patent düzeyinde yenilik getirebilir. Geliştirilen sistemlerin patent düzeyine ulaşması, gelecekte hem şirketlerin rekabeti hem de teknoloji gelişim hızı açısından son derece önemlidir.

Bu iki aşamada TRIZ kullanımı KT'ye pek çok fayda sağlayacaktır. Ayrıca iki aşama sonuçları arasında kuvvetli ilişkiler kurulması KT'den arzulanan verimi daha da artırabilir. İlişkilendirme; problem tanımları ve alt fonksiyonlar arasında yapılabilir. Bu durumda bir alt fonksiyona çözüm ararken iki koşul dikkate alınır. Bunlardan birincisi bulunacak çözümün alt fonksiyonu karşılaması, ikincisi ise ilişkili problemi gidermesi olabilir. Böylece yapılan ilişkilendirme sayesinde KT süreçleri arasında kalite yayılımı, hatası az olan çözümleri kısa sürede üretme ve yüksek yenilik seviyeli çözümlere ulaşma gibi birçok önemli avantajlar elde edilebilir. Tanıtılan genel yöntem Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Ayrıntılar ise aşağıdaki bölümlerde ele alınacaktır.



Şekil 5.1. KT basamakları ve uygulanabilecek TRIZ yöntemleri

5.1.1. Önemli problemleri TRIZ kullanarak belirleme

Önemli birçok problemin önceden saptanması, geliştirilecek sistem veya ürün kalitesini dolaylı olarak etkileyecektir. Diğer bir ifade ile tasarım başlangıcında ne kadar çok problem dikkate alınırsa, ürün kalitesi o denli artacaktır.

KT sürecinde önemli problemler belirlendikten sonra eksik kalan problemleri saptama ve geliştirmede TRIZ'den faydalanılabilir. Problem saptamada TRIZ'den faydalanmak için iki yol takip edilebilir. Bunlar: 1) prensipleri tersten düşünme, 2) çelişki matrisini kullanma.

<u>Prensipleri tersten düşünme</u>

40 temel prensip, genelde problem çözmede ve çözümleri geliştirmede kullanılır. Burada ise geliştirilecek ürüne ait önceden yenilikçi problemler araştırmak amacıyla

prensipler, tersten düşünülür. Prensipleri tersten düşünerek yeni problemler araştırmak için Kim [2005], tarafından hazırlanan pratik problem bulma çizelgesi kullanılabilir (Çizelge 5.1). Örneğin amaç, "kırılmayan bir su kabı" geliştirmekse; buradaki problem kuralı “katı ve statik” olabilir. Bu problem kuralına karşılık gelen çözüm metodu ise “dinamiklik/esneklik” olabilir. Burada kullanılabilecek çözüm prensipleri ise 15 (dinamiklik), 29 (pnömatik veya hidrolik konstrüksiyon), 30 (esnek zar veya ince filmler) ve 31 (gözenekli malzemeler) olabilir. Bunlardan 30. prensip dikkate alındığında ortaya çıkan yeni problem veya ihtiyaç tanımı şöyle yapılabilir: “bu kap esnek malzemeden yapılmalıdır”. İşlem bu şekilde sürdüğünde problemler daha ayrıntılı ihtiyaçlara dönüşür.

Çizelge 5.1. Pratik problem bulma çizelgesi [Kim, 2005]

40 prensip	Problem çözme yöntemi	Problem bulma kuralı
1, 2, 3	Bölme	Bölünmeme
5, 6	Bölünmeme	Bölme
7, 17, 9, 10, 11	Kaynak bul	Kaynak eksikliği
16, 21, 27, 34, 18, 27, 28, 29, 34, 35, 36, 37, 38, 39	Verimliliği yükselt	Düşük verimlilik
15, 29, 30, 31	Dinamik veya esnek	Katı veya statik
23	Geri beslemeyi geliştir	Yetersiz geri besleme
23, 25	Kontrolü artır	Yetersiz kontrol
26, 32	Ölçümü geliştir	Yetersiz ölçüm
33	Homojenlik	Farklılık
14, 15, 29, 30, 31, 40	Dayanımı artır	Yetersiz dayanım
21, 22	Zararı ortadan kaldır	Zararlı
24, 26	Dolaylı kullanım	Doğrudan kullanım
12, 13, 19, 20	Koşulları değiştir	Farklı koşullar
4, 8	Asimetri, simetri	Denge, dengesizlik
1, 8, 25, 28, 29, 30, 31, 40	Ağırlığı azalt	Fazla ağırlık

Çelişki matrisini kullanma

TRIZ desteğiyle belirlenen problem sayısı artar. Sonraki işlemde bu problemler arasındaki çelişkiler incelenir. Problemler genelde birbiriyle pozitif veya negatif gibi ilişkiler içerir. Negatif ilişki; teknik veya fiziksel çelişki olarak düşünülebilir. Teknik çelişki; çelişki matrisi kullanılarak çözülebilir. Önce çelişen her iki problem ifadesi çelişki matrisindeki mühendislik parametrelerine dönüştürülür. Sonra iyileşen ve

kötüleşen parametreler belirlenir. Son olarak parametrelerin kesiştiği noktadaki prensiplere göre yeni bir çözüm, problem veya ihtiyaç tanımı oluşturulur. Çelişen tüm problem ifadelerinin bu şekilde çözülmesiyle problem uzayı derinleşir ve genişler. Fiziksel çelişki ise ayırma yöntemi ile (zamanda ve mekânda ayırma gibi) çözülebilir. Böylece tasarım sonrası aşamalarda olası aksaklıklar en az düzeye çekilebilir.

5.1.2. Alt fonksiyonlara çözüm aramada TRIZ kullanımı

Daha önceden belirlenmiş problem ifadelerine göre bir tüm fonksiyon tanımı yapılır. Arkasından tüm fonksiyon, alt fonksiyonlara ayrılır. Alt fonksiyonlar, tüm fonksiyon kapsamı dahilinde bir sistemin modüler olarak geliştirilmesini sağlayan yapılardır. Buradaki en önemli nokta, alt fonksiyonlara bulunacak çözümlerin niteliği ve bu çözümlere ulaşma süresidir. Sistematik Tasarım yaklaşımında genellikle beyin fırtınası, mevcut kaynaklar, tasarım katalogları vb. yöntemlerle çözüm aranır. Bunlar oldukça kapsamlı yöntemler olmasına rağmen uzun çözüm bulma süresi ve yenilik seviyelerinin yeterince yüksek olmaması başlıca dezavantajlardandır. Buna karşın TRIZ ile yenilik seviyesi yüksek çözümlere hızlı bir şekilde ulaşmak mümkündür. TRIZ'in bu önemli avantajları KT sürecinin alt fonksiyonlara çözüm arama aşamasında kullanılabilir. Burada TRIZ araçlarında 40 prensip kullanılabilir. 2. Bölümde de değinildiği gibi 40 prensip vasıtasıyla çözüm bulma iki şekilde olabilir. Bunlar ise: tüm prensipleri tarama ve çelişki matrisinden faydalanma şeklindedir. Bunlardan çelişki matrisi kullanımı, alt fonksiyonlara çözüm aramada uygun değildir. Çünkü alt fonksiyonlara doğrudan çözüm aramak gerekir ve mühendislik parametreleri nedeniyle çelişkileri belirleme zor olur. Sonuç olarak alt fonksiyonlara çözüm aramada 40 prensibin tümü taranarak en uygunları seçilir ve bu prensiplere uygun çözümler oluşturulur.

5.2. Örnek Çalışma: Delgeç Kavramsal Tasarımında TRIZ Kullanımı

Bir önceki bölümde TRIZ'in KT sürecinde nerede ve nasıl kullanılacağı hakkında teorik bilgiler verilmiştir. Bu bölümde ise teorik bilgilerin uygulanabilirliğini

göstermek amacıyla basit bir sistemin kavramsal tasarımı üzerinde TRIZ desteği incelenecektir. KT birçok aşama içerdiğinden bu çalışma kapsamında sadece TRIZ'in uygulandığı aşamalara yer verilecektir. Amaç, TRIZ'in KT sürecinde etkin bir şekilde hangi aşamada ve nasıl kullanılabileceğini göstermektir.

Burada örnek olarak kullanılan basit sistem delgeçtir. Delgeç, kâğıt destesini (A4, A5 vb.) genellikle standart delik çapı ve aralık mesafesine göre delen basit bir sistemdir. Ofislerde sıkça kullanılan basit bir delgeç, Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

Şekil 5.2. Örnek bir delgeç

Delgeç, insan kuvvetiyle çalışır. Çalışma prensibi şöyledir: delgeç koluna kuvvet uygulandığında zımbalar vasıtasıyla altta hizalı durumda olan kâğıt destesi istenilen ölçülerde ortalı olarak delinir. Delme işlemi sonrasında biriken kâğıt artıkları bir yerde toplanır ve zaman zaman boşaltılır. Delgeç de diğer sistemler gibi zamanla gelişime veya yeniliğe ihtiyaç duyar. Yenilikçi bakış açısıyla ideal bir delgeç tanımı yapmak gerektiğinde; "en az insan gücü kullanan, en az yer kaplayan, ergonomik, en ucuz, en hafif bir delgeç" tanımı yapılabilir. Tanım bu haliyle TRIZ'in ideallik yasası ile çok uyuşmaktadır. Burada temel amaç; delgeç sistemini iyileştirmek, geliştirmek böylece tasarımın yenilik seviyesini artırmaktır. Yaklaşık 70 yaprak kapasiteli ideal

bir delgeç tasarımı için ilişkili kavramsal tasarım adımları ve TRIZ katkısı, daha önce açıklanan yönteme göre aşağıda anlatılacaktır.

5.2.1. Önemli problemleri belirleme ve TRIZ kullanımı

Belirlenen yönteme göre; önce tasarım şartnamesi esas alınarak önemli problemler belirlenir. Delgeç sistemine ait bir tasarım şartnamesi Şekil 5.3'te verilmiştir. Bu şartnameye göre belirlenen önemli ilk problemler aşağıda verilmiştir:

1) Kâğıt kapasitesi 70 yaprak olmalıdır.
2) En az insan kuvveti kullanılmalıdır.
3) Kâğıt destesi delinmeden önce ortalanmalıdır.
4) Delme işlemi sonrasında kâğıtlar üzerinde iz, katlanma vs. olmamalıdır.
5) Delme işlemi çapaksız gerçekleşmelidir.
6) Kâğıt artıkları etrafa dağılmamalıdır.

Yukarıdaki problemler sadece tasarım şartnamesi kapsamında saptanmıştır. Bu problemler, basit bir delgeçin yerine getirmesi gereken asgari şartlardır. Ancak yenilik seviyesi daha yüksek, kaliteli bir delgeç tasarımı amaçlanırsa iki işlem uygulanır: (1) TRIZ kullanılarak problem uzayı genişletilir, (2) ortaya çıkan tüm problemler arasındaki çelişkiler çözülür ve yeni problem tanımları belirlenir. Bunlardan birinciyi uygulamada *prensipleri tersten düşünme ve çelişki matrisi* yöntemleri kullanılacaktır.

		TASARIM ŞARTNAMESİ Delgeç	Sayfa 1.
Değişiklik	İ/A	İhtiyaçlar	Sorumlu
	İ	1) Delinecek kâğıt boyutu, maksimum standart A4 kağıdı (297x210 mm) ölçüsünde olmalıdır.	
	İ	2) Delinecek kâğıt kapasitesi 70 yaprak olmalıdır.	
	İ	3) Uygulanacak insan kuvveti için; $Fkol_{max}$= 5 kg olmalıdır.	
	İ	4) Tasarımda ISO 838'e göre aşağıdaki geometrik ölçüler esas alınmalıdır;	
	İ	5) A4 kağıdı ortalanarak delme işlemi yapılmalıdır.	
	İ	6) Delme işlemi sonrasında kâğıtlarda iz, katlanma vs. olmamalıdır.	
	İ	7) Kullanımı pratik ve uzun ömürlü olmalıdır.	
	A	8) Delinmiş kağıtlarda çapaklar en az düzeyde olmalıdır.	
	İ	9) Kağıt artıkları bir yerde depolanmalıdır.	
	İ	9) Maksimum maliyet ~~₺~~8 olmalıdır.	
	İ	10) Tasarım ve prototip üretim süresi maksimum 1 ay	
	İ	11) Delgeçin ağırlık ve kaplayacağı yer maksimum: m_{max}=350 gr, V_{max}=a x b x h=100x100x120 mm^3	

Şekil 5.3. Delgeç için tasarım şartnamesi

Prensipleri tersten düşünme

Kim'in pratik problem bulma çizelgesinden (Şekil 5.4.) mevcut delgeçle alakalı iki problem başlığı belirlenir. Bu başlıklar, *düşük verimlilik* ve *fazla ağırlıktır*. *Düşük verimlilik*; daha yüksek kâğıt kapasiteli, *fazla ağırlık* ise daha hafif bir delgeç

amaçlandığı için ortaya çıkan problemlerdir. Bu problemlerin çözümü için 16 (kısmi veya aşırı eylem), 21 (eylemi hızlı yapma) ve 40 (kompozit malzemeler) nolu prensipler çizelgeden belirlenir. Bu prensiplere göre oluşturulan yeni problem ifade veya ihtiyaç tanımları şunlardır:

1) Daha çok kâğıt delmek için daha yüksek kuvvet uygulanmalı (16. prensibe göre)
2) Kesme işlemi hızlı gerçekleştirilmeli (21. prensibe göre)
3) Hafif ve dayanıklı malzeme kullanılmalı (40. prensibe göre)

40 prensip	*Problem çözme metodu*	*Problem bulma kuralı*
1, 2, 3	Bölme	Bölünmeme
5, 6	Bölünmeme	Bölme
7, 17, 9, 10, 11	Kaynak bul	Kaynak eksikliği
16, 21, 27, 34, 18, 27, 28, 29, 34, 35, 36, 37, 38, 39	Verimliliği yükselt	Düşük verimlilik
15, 29, 30, 31	Dinamik veya esnek	Katı veya statik
23	Geri beslemeyi geliştir	Yetersiz geri besleme
23, 25	Kontrolü artır	Yetersiz kontrol
26, 32	Ölçümü geliştir	Yetersiz ölçüm
33	Homojenlik	Farklılık
14, 15, 29, 30, 31, 40	Dayanımı artır	Yetersiz dayanım
21, 22	Zararı ortadan kaldır	Zararlı
24, 26	Dolaylı kullanım	Doğrudan kullanım
12, 13, 19, 20	Koşulları değiştir	Farklı koşullar
4, 8	Asimetri, simetri	Denge, dengesizlik
1, 8, 25, 28, 29, 30, 31, 40	Ağırlığı azalt	Fazla ağırlık

Şekil 5.4. Pratik problem bulma çizelgesine göre problem belirleme

Burada problemden çözüme, çözümden tekrar probleme gidilmiştir. Diğer bir ifadeyle "bir problemin çözümü yeni problemleri ortaya çıkarır" TRIZ felsefesi uygulanmıştır. Bu döngü devam ettikçe sistemin gelişimi de sürmektedir. Buraya kadar elde edilen son problem listesi:

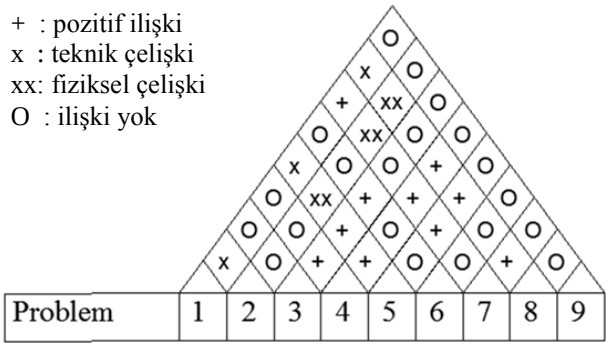
1) Kağıt kapasitesi 70 yaprak olmalıdır.
2) En az insan kuvveti kullanılmalıdır.
3) Kağıt destesi delinmeden önce ortalanmalıdır.
4) Delme işlemi sonrasında kağıtlar üzerinde iz, katlanma vs. olmamalıdır.
5) Delme işlemi çapaksız gerçekleşmelidir.
6) Kağıt artıkları etrafa dağılmamalıdır.
7) Daha çok kâğıt delmek için daha yüksek kuvvet uygulanmalı (16. prensibe göre)

8) Kesme işlemi hızlı gerçekleştirilmeli (21. prensibe göre)
9) Hafif ve dayanıklı malzeme kullanılmalı (40. prensibe göre) olarak belirlenmiştir.

Problem belirleme aşamasında son olarak problemler arasındaki çelişkiler incelenmelidir. Problemler arasında çelişkiler olduğunda ise ikinci yöntem olan çelişki matrisi kullanılır.

Çelişki matrisini kullanma

Burada problemler arasında çelişkiler bulunur. Çelişkiler çözülmek suretiyle ilerde karşılaşılabilecek olası sorunların üstesinden gelinebilir ve kısa sürede doğru çözümler elde edilebilir. Delgeç için belirlenen dokuz problem arasındaki pozitif ve negatif ilişkiler, Şekil 5.5'deki ilişki matrisinde gösterilmiştir.

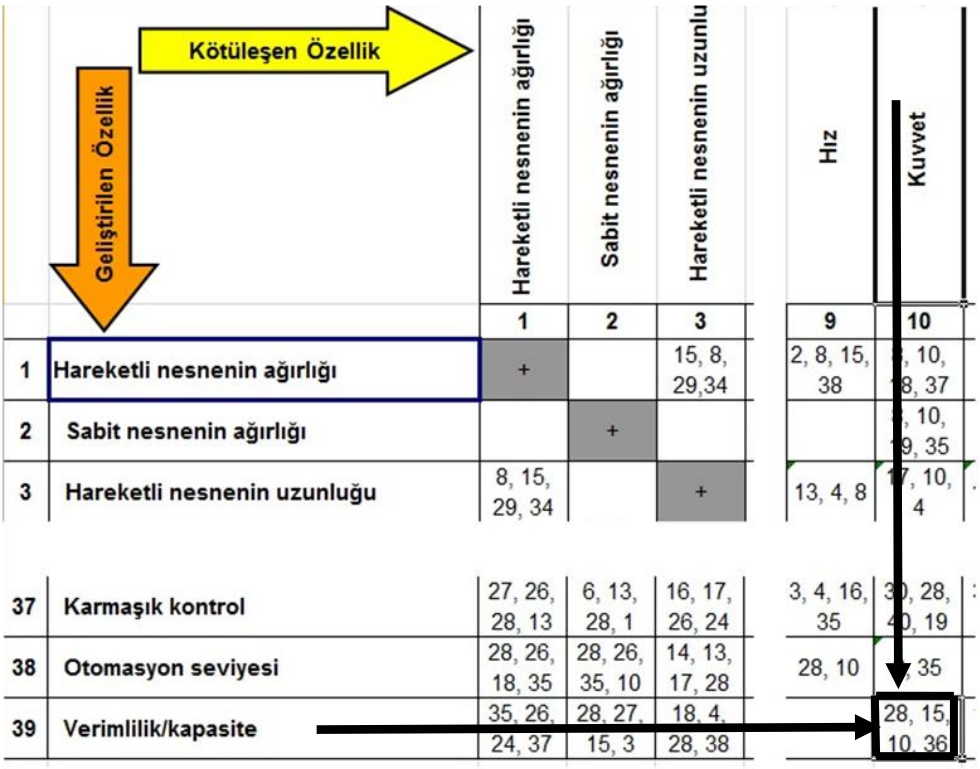


Şekil 5.5. Delgeçe ait problemlerin ilişki matrisi

Birbiriyle çelişen problemler incelendiğinde; 1-2, 1-5, 1-8, 2-5, 2-7, 2-8 olmak üzere toplam 6 çelişki belirlenebilir. Örneğin 1-2 çelişkisi kapasite artışı ve gerekli insan kuvvetini azaltma arasındadır. Burada teknik bir çelişki vardır. Teknik çelişki, "kapasite artışı, gerekli kuvveti artırır" olarak tanımlanabilir. Amaç; kapasite artışına karşı gerekli insan kuvvetini aynı tutmak veya azaltmak olabilir. Bu durumda çelişki matrisini kullanmak için önce mühendislik parametreleri belirlenir. Bu durumda iyileşen parametre kapasite, kötüleşen ise kuvvet olur. Bu işlem Şekil 5.6'da çelişki matrisi üzerinde gösterilmiştir.

Çelişki matrisine göre önerilen prensipler: 28 (mekanik sistem yerine farklı sistemler kullanma), 15 (dinamiklik), 10 (ön eylem) ve 36 (hal değişimi) bulunur. Bunlardan ise en uygun çözüm *dinamiklik* prensibiyle bulunabilir. Sistemin dinamiklik özelliği artırıldığında az insan kuvvetine ihtiyaç duyulacaktır. Bu çözüm, yeni bir problem tanımı; "10. Sistem dinamikliği insan kuvvetini en az harcayacak şekilde sağlanmalıdır" şeklinde ifade edilebilir. Ayrıca 1-2 problem çelişkisi çözüldüğünde 1-5 ve 1-8 problem çelişkileri de çözülmüş olacaktır. Çünkü bu üç çelişki de aynı teknik çelişkiye dayanır.

Diğer çelişkilerden ise 2-7 incelendiğinde; burada fiziksel bir çelişki olduğu görülebilir. Tanım olarak; "en az insan kuvveti kullan-delme için yüksek kuvvet ihtiyacı" ile belirtilebilir. Diğer bir ifade ile kuvvet hem az hem de çok olmalıdır. Bu durumda fiziksel çelişki yöntemlerinden *yapıya göre çözüm* yöntemi uygulanabilir. Aynı yapı üzerinde iki kuvvet uygulanmalı ve bunlardan birisi düşük diğeri yüksek olmalıdır. Belirtilen çözüm yapısı mekanik avantaj kavramını tanımlamaktadır. Kuvvet-kol ilişkisi buna örnek olarak verilebilir. Sonuç olarak yeni bir problem tanımı yapmak gerekirse; "11. Sistemin mekanik avantajı yüksek olmalıdır" tanımı yapılabilir. Böylece 2-7 çelişkisi çözüldüğünde 2-5 ve 2-8 problem çelişkileri de çözülmüş olacaktır. Çünkü bu üç çelişki de aynı fiziksel çelişkiye dayanır.



Şekil 5.6. 1-2 problem çelişkisinin çelişki matrisi ile çözümü

Problem belirleme işleminde TRIZ'in de kullanılması ile elde edilen son problem listesi aşağıdadır:

1) Kağıt kapasitesi 70 yaprak olmalıdır.
2) En az insan kuvveti kullanılmalıdır.
3) Kağıt destesi delinmeden önce ortalanmalıdır.
4) Delme işlemi sonrasında kâğıtlar üzerinde iz, katlanma vs. olmamalıdır.
5) Delme işlemi çapaksız gerçekleşmelidir.
6) Kâğıt artıkları etrafa dağılmamalıdır.

TRIZ 7) Daha çok kâğıt delmek için daha yüksek kuvvet uygulanmalı (16. prensip).

TRIZ 8) Kesme işlemi hızlı gerçekleştirilmeli (21. prensip).

TRIZ 9) Hafif ve dayanıklı malzeme kullanılmalı (40. prensip).

TRIZ 10. Sistemin dinamiklik özelliği az insan kuvveti harcayacak şekilde sağlanmalıdır (15. prensip).

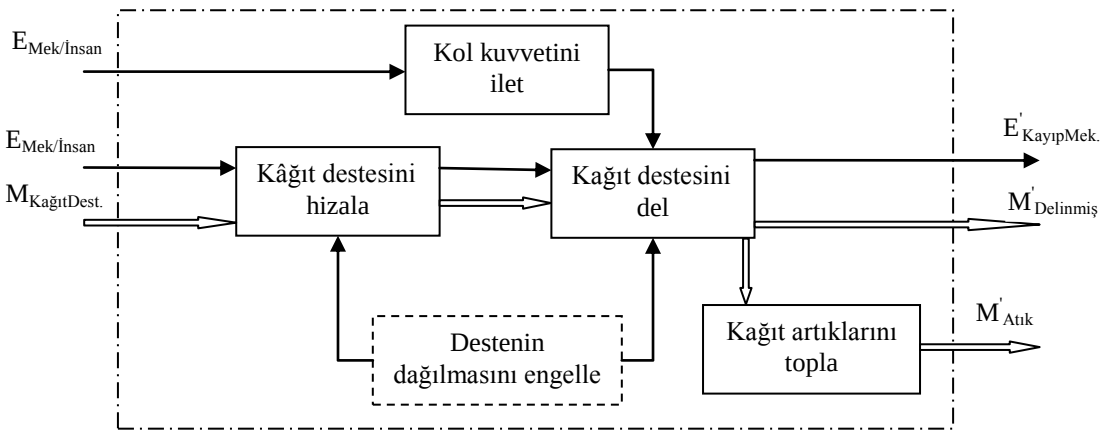
TRIZ 11. Sistemin mekanik avantajı yüksek olmalıdır (*yapıya göre çözüm yöntemi*).

TRIZ kullanımı sonucu belirlenen bu problem ifadeleri doğrudan özel bir çözüm içermemekte olup, özelikle çözüm bulma gibi aşamalarda büyük avantajlar sağlayabilir. Bu avantajlar:

- Fonksiyonlara çözüm aramada doğrudan yaratıcı çözümleri teşvik etmesi, böylece kısa sürede çözüm bulma imkânı sağlaması ve
- Tasarımın yenilik seviyesini yükseltmesi olarak belirtilebilir.

5.2.2. Alt fonksiyonlara çözüm aramada TRIZ kullanımı

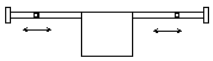
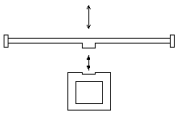
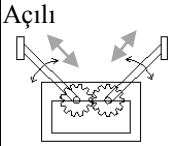
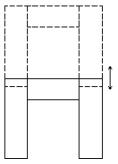
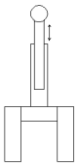
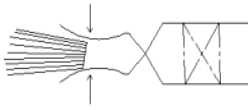
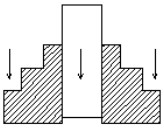
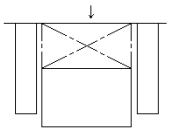
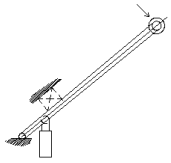
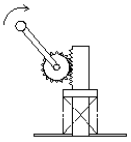
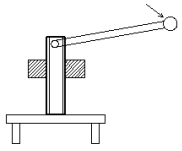
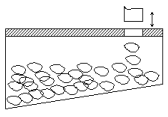
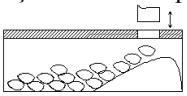
KT sürecinde problem belirleme aşaması sonrası alt fonksiyonlar oluşturulmadan önce bir tüm fonksiyon tanımı yapılır. Delgeçe ait tüm fonksiyon tanımı: "Kâğıt destesini en az insan kuvvetiyle düzenli, ortalı ve ISO 838'e uygun geometride del" olarak yapılabilir. Tüm fonksiyon tanımı çerçevesinde alt fonksiyonlar oluşturulduğunda Şekil 5.7'deki gibi bir fonksiyon yapısı elde edilebilir. Şekil 8'deki ayrıntılı fonksiyon yapısında; alt fonksiyonlar ve aralarındaki enerji, malzeme akışları açıkça görülmektedir.



Şekil 5.7. Delgeç için ayrıntılı fonksiyon yapısı

Daha sonra alt fonksiyonları karşılayacak en uygun çözümler araştırılmalıdır. TRIZ ile kısa sürede alt fonksiyonlara yenilikçi çözümler üretilmiştir. Yukarıdaki bölümlerde de değinildiği gibi TRIZ aracı olarak 40 prensip kullanılmış olup, her alt

fonksiyon için tüm prensipler taranmış ve uygun prensipler belirlenmiştir. Seçilen prensiplere göre somut çözümler, Şekil 5.8'de şematik çizimlerle gösterilmiştir. Ayrıca daha önceden belirlenen yaratıcı problemler ile alt fonksiyonlar bu çizelgede ilişkilendirilmiştir. Böylece hangi problemin hangi alt fonksiyon kapsamında değerlendirildiği açıkça görülebilir.

Çözümler / **Alt Fonksiyonlar**	1	2	3
1-Desteyi hizala Çözülen problemler 1 3 9	Doğrusal hareketli  Dinamiklik	Harici parça olarak  Çıkarma	Açılı  Küresellik+Dinamiklik
2- Kol kuvvetini ilet Çözülen problemler 2 7 9 10 11	Uzatılabilir kol  Dinamiklik+İç içe geçme	Uzatılabilir kol Dinamiklik+İç içe geçme	Uzatılabilir kol  Dinamiklik+İç içe geçme
3- Destenin dağılmasını önle Çözülen problemler 1 4 5 9	Yanlardan sıkıştır  Ön eylem	Zımbalar etrafında ön baskı plakası  Ön eylem+Birleştirme	Zımbalar arasında ön baskı plakası  Öneylem+Birleştirme
4- Desteyi del Çözülen problemler 2 5 7 8 9 10 11	Kaldıraç  Asimetri	Kramayer dişli  Asimetri+Bölmeleme	Vida  Küresellik
5- Kâğıt artıklarını depola Çözülen problemler 6 9	Eğimli depo  Asimetri	İçten tümsek depo  Asimetri+ Küresellik	

Şekil 5.8. Delgeç alt fonksiyonlarına bulunan TRIZ çözümleri

Örneğin, "desteği hizala" alt fonksiyonu kapsamında üç çözüm önerilmiş ve üç problem ele alınmıştır. Çözümler; doğrusal hareketli, harici takılabilen ve açılı-iç içe geçebilen kol olarak belirlenmiştir. Problemler ise önceki aşamada elde edilmiş olan 1 (kağıt kapasitesi), 3 (kağıt destesi ortalama) ve 9 (sistemin hafif olması) numaralı problemlerdir. Dolayısıyla önerilen bir çözümün onaylanması için ait olduğu alt fonksiyonu karşılaması ve bu alt fonksiyona ait problemleri gidermesi gerekir. "Desteyi hizala" alt fonksiyonuna ait çözümlerin hangi TRIZ prensibine göre geliştirildiği aşağıda açıklanmıştır.

1: Doğrusal hareketli
Burada *dinamiklik* prensibine göre çözüm bulunmuştur. Hareketli kolun bir tarafı itildiği veya çekildiğinde diğer tarafı da aynı anda kapanır veya açılır.

2: Harici parça olarak
Burada *çıkarma/ayırma* prensibine göre çözüm bulunmuştur. Kâğıt destesini ortalayacak kol, ana sisteme çıkarılıp takılabilecek şekilde tasarlanmıştır.

3: Açılı
Burada *küresellik* ve *dinamiklik* prensiplerine göre çözüm bulunmuştur. Kâğıt destesini ortalayacak kolun izleyeceği yörünge dairesel olarak, kolun uzunluğu da iç içe geçebilir şekilde tasarlanmıştır.

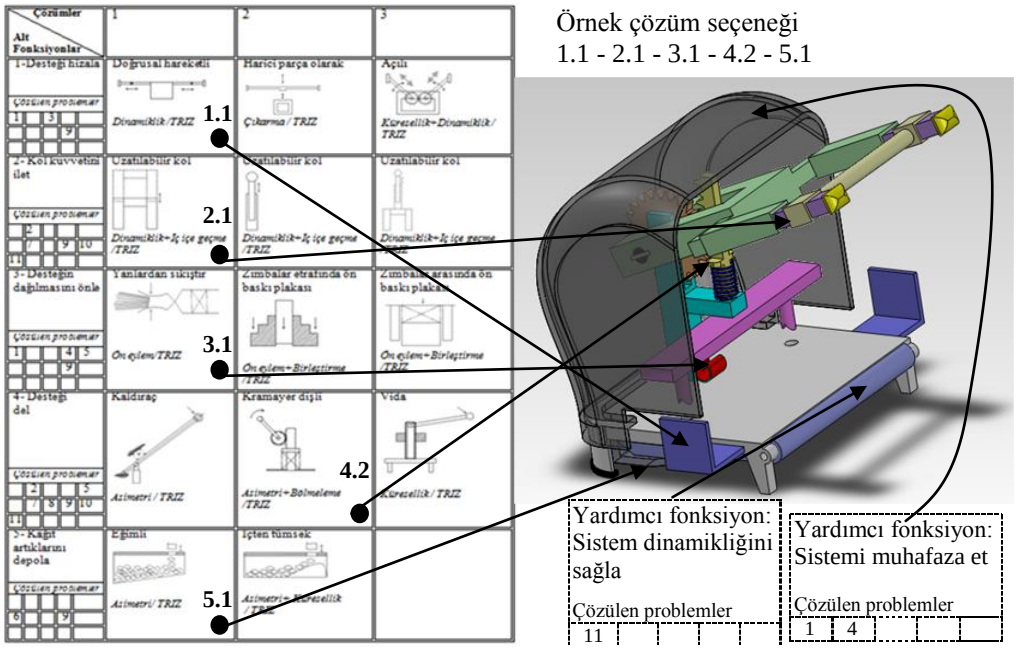
Bu üç çözümde hem sistemin az yer kaplaması hem de kâğıt destesinin kolayca ortalanması amaçlanmıştır. Ayrıca basit, ince mekanik tasarım ve sert plastik malzeme kullanarak sistem hafifliği amaçlanmıştır. Böylece üç problem de giderilmiştir. Diğer alt fonksiyon çözümleri ve ilişkili problemlerde de aynı gidiş yolu izlenmiştir. Delgeç için toplam 262 (= 3x3x3x3x2) genel sistem çözümü veya çözüm seçeneği elde edilmiştir. Bunların değerlendirilmesi ve seçilmesi KT'nin bilinen diğer aşamalarıyla aynı olduğu için bu çalışma kapsamında ele alınmamıştır.

TRIZ kullanılarak elde edilen çözümlerin tasarıma somut katkısını daha net görebilmek için bu çözümleri sistem üzerinde bir araya getirmek ve görselleştirmek

gerekir. Bu amaçla delgeç mekanizmasına ait herhangi bir çözüm seçeneği örnek alınmış ve bu çözüm seçeneğine ait katı model oluşturulmuştur. Burada örnek alınan çözüm seçeneği (1.1-2.1-3.1-4.2-5.1):

- 1.1 - Doğrusal hareketli (1. alt fonksiyona ait 1. çözüm)
- 2.1 - Uzatılabilir kol (2. alt fonksiyona ait 1. çözüm)
- 3.1 - Yanlardan sıkıştır (3. alt fonksiyona ait 1. çözüm)
- 4.2 - Kramayer dişli (4. alt fonksiyona ait 2. çözüm) ve
- 5.1 – Eğimli depo (5. alt fonksiyona ait 1. çözüm) şeklinde oluşabilir.

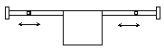
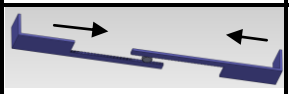
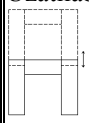
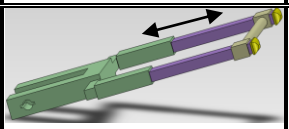
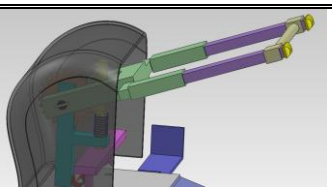
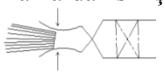
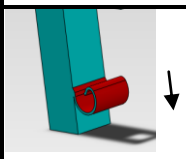
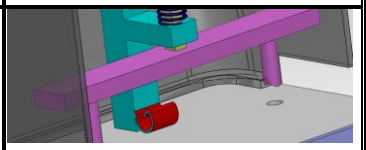
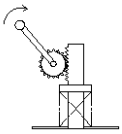
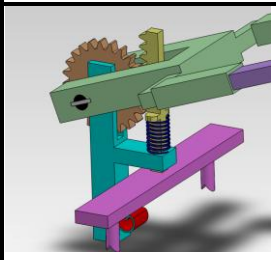
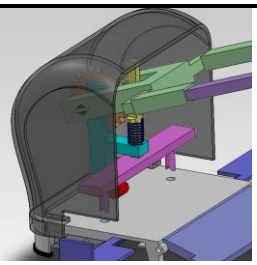
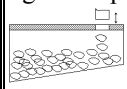
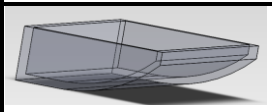
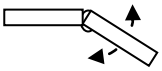
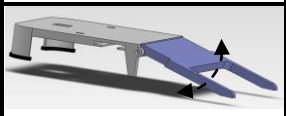
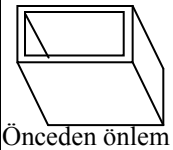
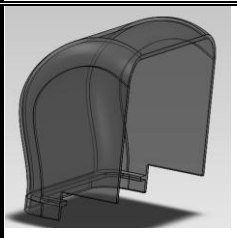
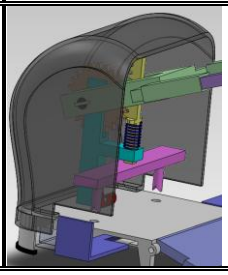
Şekil 5.9'da delgeç sistemini oluşturan çözümler ile örnek çözüm seçeneğinin katı modeli arası eşleşmeler açıkça gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, sistemin alt fonksiyon ve ilişkili yardımcı fonksiyon çözümlerinden oluştuğu görülmektedir. Yardımcı fonksiyon, önemli alt fonksiyonlar dışında kalan ve sistem eksik/ihtiyaçlarını tamamlayan fonksiyonlardır. Burada iki yardımcı fonksiyona ihtiyaç duyulmuştur. Bunlar; sistemin dinamiklik özelliğini artırmak ve sistemi muhafaza etmekle ilgilidir.



Şekil 5.9. Delgeçe ait örnek çözüm seçeneğine ait katı model

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılabileceği gibi delgeç sistemini oluşturan çözümler TRIZ kullanılarak kolayca bulunabilir. Bu çözümlerin genel çalışma yapıları ve sistem içindeki yerleri ise daha ayrıntılı olarak Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Burada:

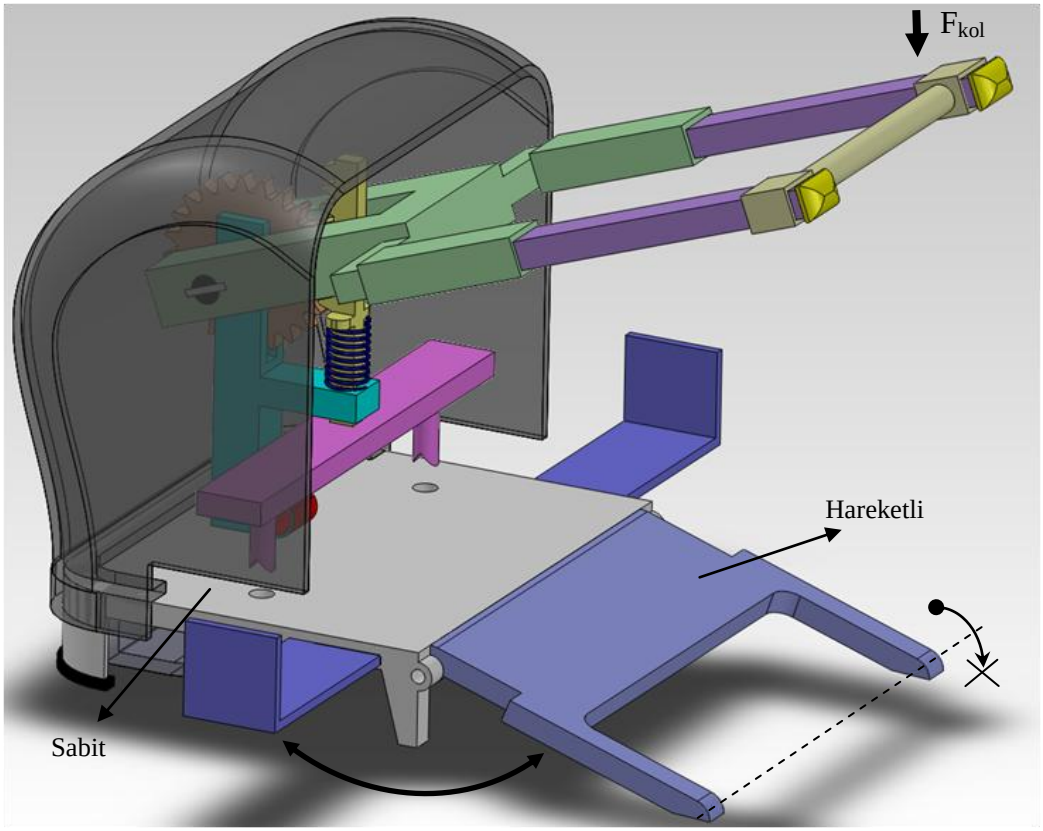
- 1.1 çözümü için *dinamiklik* ilkesiyle daha kolay ve hızlı kâğıt ortalamak,
- 2.1 çözümü için *dinamiklik* ve *iç içe geçme* ilkeleriyle yüksek mekanik avantaj elde etmek,
- 3.1 çözümü için *ön eylem* ilkesiyle delme esnasında kâğıt destesinin dağılmasını önlemek,
- 4.2 çözümü için *asimetri* ve *bölmeleme* ilkeleriyle dairesel hareketi doğrusal harekete dönüştürerek kâğıt destesini delmek,
- 5.1 çözümü için *asimetri* ilkesiyle kâğıt artıklarını düzenli ve akıcı depolamak,
- 1. yardımcı fonksiyon çözümü için *dinamiklik* ilkesiyle hem gövdenin az yer kaplamasını sağlamak hem de koldaki yüksek momentten kaynaklanacak gövdedeki dönme hareketini engellemek,
- 2. yardımcı fonksiyon çözümü için *önceden önlem alma* ve *birleştirme* ilkesiyle hem kâğıt destesini dağılmadan delmek hem de iç sistem yapısını muhafaza etmek amaçlanmıştır.

Çözüm no	Çözüm prensibi	Genel çalışma yapısı	Sistem içindeki hali
1.1	Doğrusal hareketli  Dinamiklik /TRIZ		
2.1	Uzatılabilir kol  Dinamiklik+İç içe geçme /TRIZ		
3.1	Yanlardan sıkıştır  Ön eylem/TRIZ		
4.2	Kramayer dişli  Asimetri+Bölmelem e /TRIZ		
5.1	Eğimli depo  Asimetri/ TRIZ		
1. yardımcı fonksiyon çözümü	Hareketli destek  Dinamiklik /TRIZ		
2. yardımcı fonksiyon çözümü	Kapak  Önceden önlem alma+birleştirme /TRIZ		

Şekil 5.10. Delgeç sistemine ait çözümlerin ayrıntılı gösterimi

Delgeç sisteminin maksimum kapasite ile çalışma konumu Şekil 5.11'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi maksimum kapasitede kâğıt destesi delme işleminde en az insan kuvveti kullanmak amacıyla kuvvet kolu uzatılarak kuvvet uygulama mesafesi

artırılır. Böylece yüksek mekanik avantaj elde edilir. Buna karşılık alt tablanın aynı yönde herhangi bir dönme hareketini engellemek için ise alt tablanın hareketli kısmı açılır. Böylece kuvvet kolu uzunluğu artışına karşılık, alt tabla uzunluğu artar ve kinematik denge sağlanır.



Şekil 5.11. Delgeç sisteminin maksimum kapasitede çalışma hali

Fonksiyonlara çözüm aramada TRIZ'in kullanılması, kısa zaman içinde yüksek yenilik seviyeli çözümler bulunmasını mümkün kılmıştır. Böylece KT sürecinin en önemli eksikleri olan süre ve yenilik problemlerini çözme amaçlı olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

5.3. Sonuç

Bu bölümde KT sürecinde TRIZ kullanımı ele alınmış ve incelenmiştir. Araştırma kapsamında ilk önce yenilikçi açıdan KT sürecindeki geliştirilmesi gereken önemli noktalar belirlenmiştir. Bunlar: uzun çözüm bulma zamanı ve çözümlerde yetersiz

yenilik seviyesidir. Sonra bu kritik noktalar üzerine TRIZ'in uygulanma şekli incelenmiştir. Yapılan tespitler sonucunda, TRIZ'in iki KT aşamasında doğrudan fayda sağlayabileceği düşünülmüştür. Aşamalardan ilki problemleri belirleme, ikincisi ise fonksiyonlara çözümler aramadır. Her iki aşamada da TRIZ'in 40 prensibi kullanılmıştır. Bu çalışmanın orijinal yanı, TRIZ'in hem problem belirleyici hem de problem çözücü olarak kullanılmasıdır.

Çalışma kapsamında KT'de TRIZ kullanımı için takip edilen yöntem özetle;

1) Tasarım şartnamesi kapsamında ilk problemlerin tespit edilmesi,
2) TRIZ ile yeni problem ifadelerinin belirlenmesi, problemler arasındaki çelişkilerin çözülmesi ve son problem listesinin oluşturulması,
3) Tüm fonksiyon, alt fonksiyonlar ve ihtiyaç halinde yardımcı fonksiyonların belirlenmesi,
4) Bu fonksiyon yapılarıyla önceden tespit edilen tüm problemlerin ilişkilendirilmesi,
5) Fonksiyonları karşılayacak ve beraberinde ilişkili problemleri giderecek çözümlerin TRIZ ile bulunması ve
6) TRIZ desteğinin sonuçlarını somut olarak görmek için örnek bir çözüm seçeneğine ait katı modelin oluşturulmasıdır.

Yöntemin uygulanabilirliğini göstermek amacıyla basit bir sistem olan delgeçin kavramsal tasarımı üzerinde çalışılmıştır. Çalışma sonunda piyasada mevcut delgeç sistemlerine ek yeni özellikler geliştirilmiştir. Örneğin; piyasadaki delgeçlerde genelde dinamik yapı yerine statik bir yapı vardır. Yani, katlanma, yüksek mekanik avantaj gibi yenilikçi özellikler fazla bulunmamaktadır. Burada geliştirilen delgeçin ise en önemli yenilikleri: insan kuvvetini en az kullanması, az yer kaplaması, ergonomik kâğıt atık hazne tasarımı, hızlı kâğıt ortalama, düzenli delme işlemi olarak belirlenebilir. Kısaca statik bir yapı yerine dinamik bir yapı tercih edilmiştir. Bu geliştirme işlemi, TRIZ yasalarına göre bir teknik sistemin gelişim evlerinden dinamiklik evresine karşılık gelir. Dinamiklik evresi, katı veya sabit halden daha esnek bir yapıya geçişi içerir. Yeni delgeç tasarımıyla, TRIZ'in KT üzerindeki

etkisi/katkısı somut olarak gösterilmiştir. Buna karşın tasarım sürekli yineleyen bir süreç olduğu için bu delgeç tasarımı daha da geliştirilebilir.

Geliştirilen yöntem ve bu yönteme göre uygulanan örnek kavramsal tasarım sonucunda TRIZ'in KT sürecine önemli katkıları görülmüştür. Bu katkılar:

1) Önceden tespit edilen yaratıcı çözümler sayesinde geliştirilen üründe önemli kalite artışı,
2) Fonksiyonlara çözüm aramada çözüm arama süresinin en aza inmesi ve çözüm uzayının yaratıcı çözümler kapsamlı daralması ve
3) Önemli problemler ile fonksiyonlar arasında doğrudan bağlantı kurularak KT sürecinin daha verimli hale gelmesidir.

6. YENİ NESİL TASARIM TEMSİL YÖNTEMLERİ

Kavramsal tasarıma ait bilgileri temsil etmek, saklamak ve tekrar kullanmak çok önemlidir. Çünkü standart biçimde temsil edilen ve kullanılan tasarım bilgisi, tasarımcıların daha kaliteli ve hızlı çözümler bulmasını sağlayacaktır. Bu bölümde tasarım temsilinde kullanılabilecek yeni nesil dört tasarım temsil yöntemi veya projesi incelenecektir. Bu projeler: UML, SysML, CPM ve MOKA'dır. Aşağıda bu projeler hakkında genel bilgiler verilmiş ve bunların kavramsal tasarıma nasıl katkı sağlayabileceği tartışılmıştır.

6.1. UML

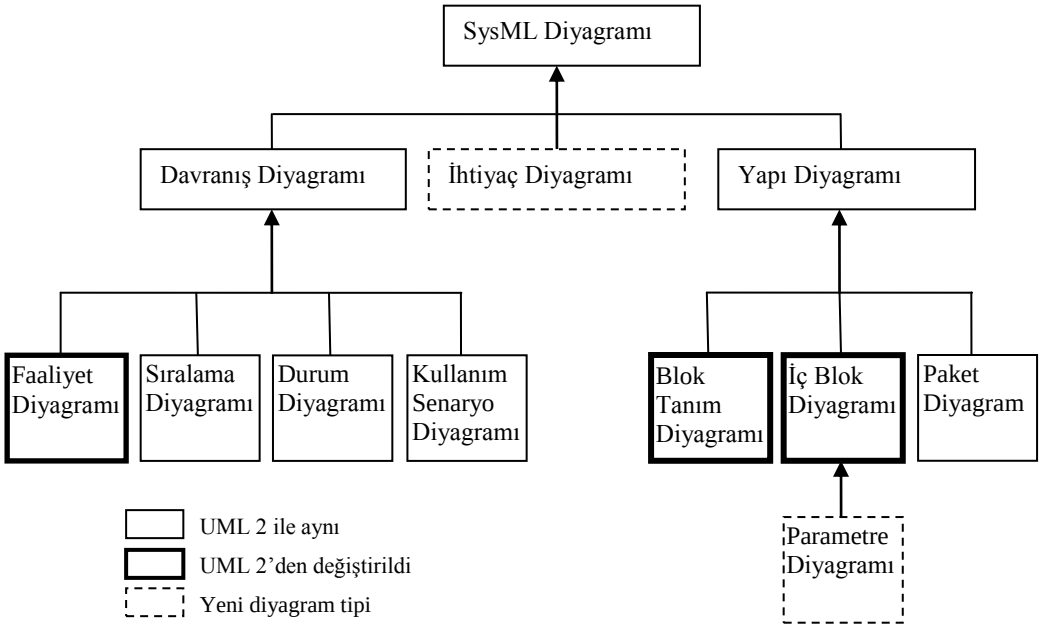
UML (The Unified Modelling Language - Birleşik Modelleme Dili), OMG [2011] tarafından geliştirilen ve yazılım uygulamalarına hitap eden nesnel tabanlı bir modelleme dilidir. Çeşitli iş faaliyetleri ve yazılım olmayan sistemler de UML ile modellenebilir. Çeşitli diller ve özellikle nesnel uyarlı dil / sistemlerle müşterek geliştirilecek yazılım veya web tabanlı uygulamalara çok uygundur. Piyasada bazı araçlar, UML kodunu okuyup simülasyon gibi çeşitli işlemler yapabilir. Bu dilin son versiyonu UML 2.0 olarak bilinmektedir.

UML, şu ana amaçlar için tasarlanmıştır [OMG, 2011]:

1) Kullanıcılara hazır, etkili görsel modelleme dili sunmak; böylece anlamlı modeller geliştirme ve dönüştürme sağlamak
2) Çekirdek kavramları genişletmek için genişletme ve uzmanlaşma mekanizmaları sağlamak
3) Özel programlama dil ve geliştirme süreçlerinden bağımsız olmak
4) Modelleme dilini anlayacak biçimsel bir temel oluşturmak
5) OO (Nesne Yönelimli) araç pazarı geliştirmeyi teşvik etmek
6) İşbirliği, çerçeve, kalıp ve bileşen gibi üst düzey geliştirme kavramlarını desteklemek
7) İyi uygulama yanlarını birleştirmek

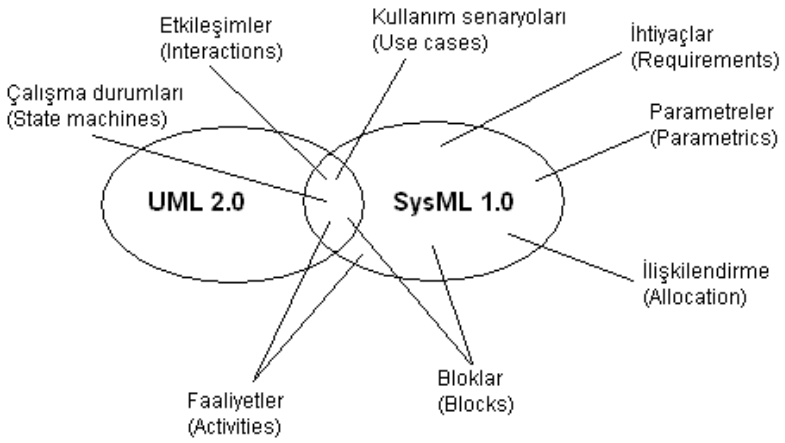
6.2. SysML

UML dil geliştirmesi sonrası aralarında IBM, NASA ve Motorola'nın da bulunduğu birçok büyük firma / kuruluş, sistem mühendisliği alanında kullanılabilecek bir dil geliştirme ve gerçekleşme projesini desteklemiştir. Bu çabalar, çok kısa bir süre önce sonuçlanmış ve SysML dili (Systems Modelling Language (OMG SysML) v1.0) ortaya çıkmıştır [OMGSysML, 2011]. Bu dil; geniş kapsamlı karmaşık sistem tanım (tasarım şartnamesi veya ihtiyaç listesi), analiz, tasarım, karşılaştırma ve onaylamayı destekler. Bu sistemler, donanım, yazılım, bilgi, işlemler, personel ve olanakları içerebilir. Genel bir ifade ile UML dilinin yukarıda belirtilen amaç ve kapsama bir uyarlama ve genişletilmesini kapsar. Hâlihazırda sistem mühendisleri, büyük ve karmaşık sistem projelerinde birçok modelleme dili, aracı ve tekniği kullanmaktadır. Nasıl UML yazılım alanında modelleme dillerini birleştirmede kullanılmakta ise, benzer tarzda SysML de, sistem mühendisliği alanındaki farklı dilleri birleştirme ve bire düşürmeyi amaçlamaktadır. SysML, UML 2 dilini bir alt küme olarak kullanmakta ve gerekli bazı ilave mekanizmalar sunmaktadır. Şekil 6.1, OMG'nin yayınladığı en son sürüm olan SysML v1.2 dili kapsamında kullanılan diyagram türlerini göstermektedir.



Şekil 6.1. SysML v1.2 diyagram türleri [OMGSysML, 2011]

SysML, UML'den alınan ve yeni ihtiyaçlara geliştirilen / adapte edilen birçok diyagram türü içermektedir. Ayrıca SysML, UML'de yer almayan ve sonradan SE RFP (Sistem Mühendisliği Talep Teklif- System Engineering Request of Proposal) ihtiyaçları çerçevesinde eklenen yeni diyagramlar da içermektedir. Şekil 6.2'de, SysML v1.0 ile UML 2.0 arasında genel kapsamları açısından bir karşılaştırma verilmiştir. Burada; "İhtiyaçlar", "Parametreler" ve "İlişkilendirmeler" sadece SysML'de yer alan yeni diyagramlardır. "Faaliyet ve "Blok" diyagramları, UML 2.0'dan alınmış ve SE RFP ihtiyaçlarına göre genişletilmiştir. "Çalışma durumları", "Etkileşimler" ve "Kullanım senaryoları" ise herhangi bir değişime uğramadan UML 2.0'dan aynen alınmıştır [Balmelli, 2006].



Şekil 6.2. SysML 1.0 ile UML 2.0'ın karşılaştırılması [Balmelli, 2006]

SysML ve UML aynı temele dayandığı için, SysML ile yapılan sistem mühendisliği ve UML 2 ile hazırlanan yazılım mühendislik modelleri, yazılım içeren sistem modellemede müşterek tanımlanabilir, tasarlanabilir ve kullanılabilir. Böylece farklı uzmanlar, birlikte daha iyi çalışabilir ve işbirliği yapabilirler. Yakın bir gelecekte SysML dilinin; otomotiv, uzay araçları, savunma sanayi, iletişim ve bilgi sistem uygulamalarında yoğun kullanılacağı düşünülmektedir.

SysML, basit ve güçlü bir yapıdadır, böylece çeşitli özellik ve kapsamlı sistem mühendislik problemlerini kolay, hızlı ve güvenilir modelleme kapasitesindedir. İhtiyaç tanımı, yapı, davranış ve gösterim ile birlikte sınırlayıcı ifadeleri, özellikle bu

dilde güçlüdür. Ayrıca yapısal, nesnel uyarlı ve diğer yöntemler de uygulanabilir. SysML temel tasarım prensipleri, mevcut BDT sistemlerinde yeterince olmayan ve yeni kuşak sistemlerde özellikle arzulanan, şu özeliklere sahiptir [OMG 2011]:

- optimum olma
- tekrar kullanılma
- modüler olma
- katmanlara ayırma
- ayrıştırma yapma
- genişletilebilir olma
- karşılıklı kullanılma vb. şekilde

SysML şu tür tasarım fikirleri modellemeyi destekler [OMG, 2011]:

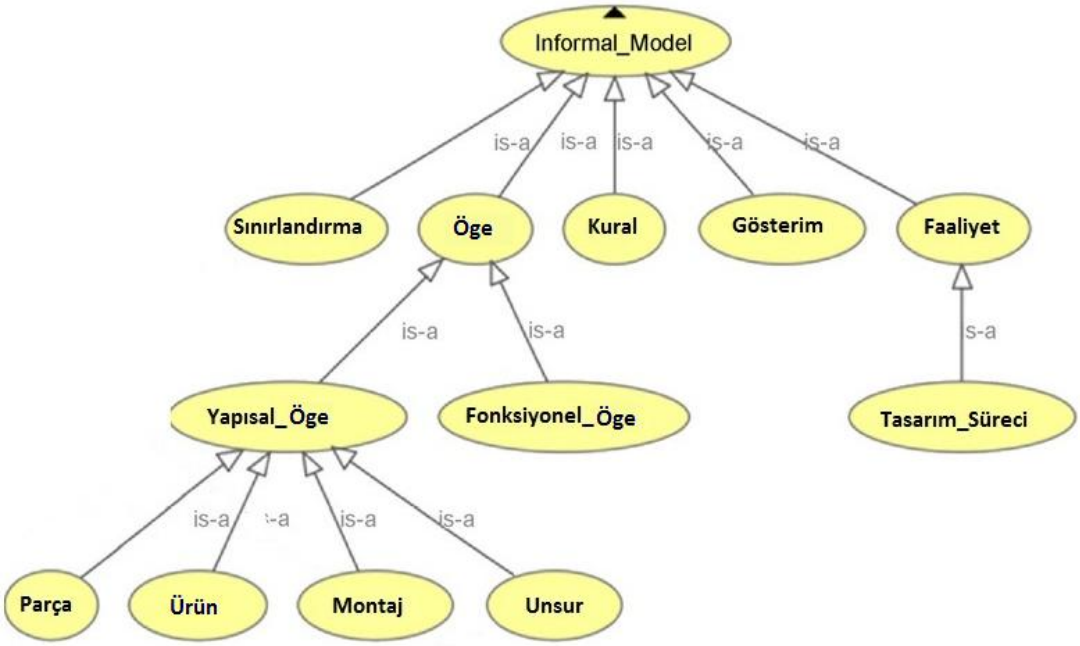
- yapı (veya oluşum; örneğin hiyerarşi, ilişki gibi)
- davranış (fonksiyona dayalı davranış, duruma dayalı davranış gibi)
- özellikler (parametrik modeller, zaman özelliği gibi)
- ihtiyaçlar (ihtiyaç hiyerarşisi, takip edilebilirlik gibi)
- karşılaştırma (test şekilleri, karşılaştırma sonuçları gibi)
- diğer (maliyet çalışmaları gibi)
- müşterek tasarım
- dağınık tasarım
- temsil tekniği (biçim-fonksiyon-davranış)

Yine yukarıdaki tasarım fikirleri, yeni ve gelecek kuşak BDT sistemlerinde olması hayati önem arz eden hususlardır.

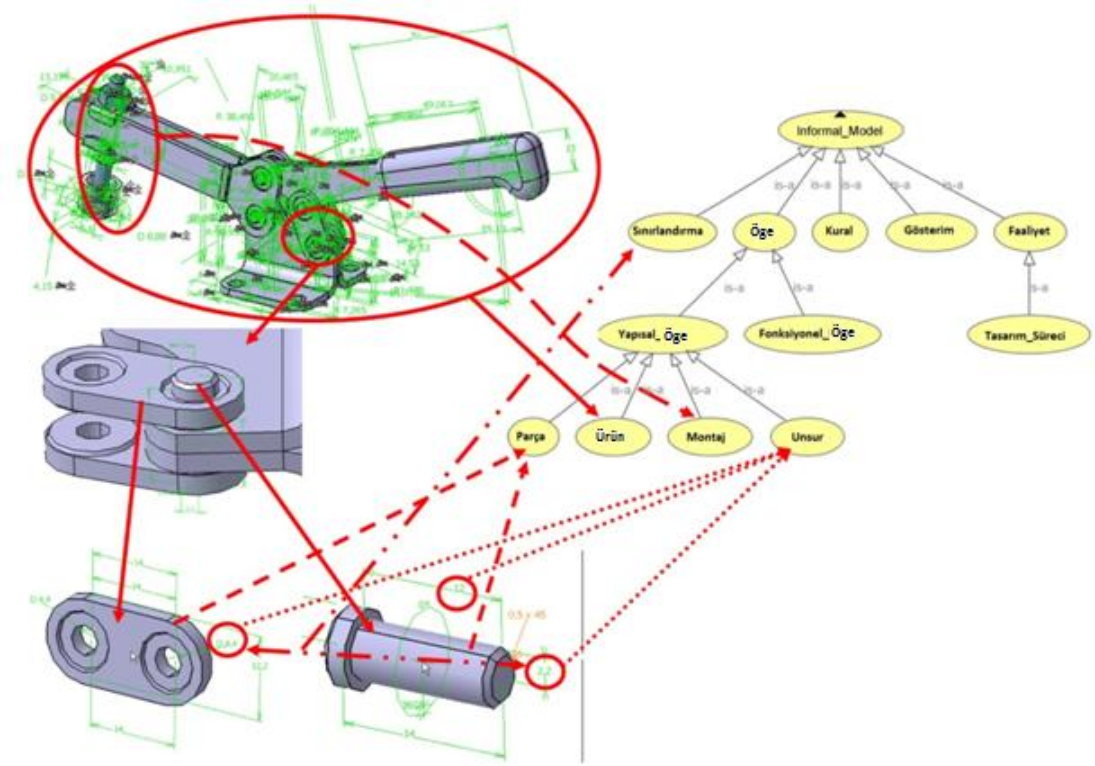
6.3. MOKA

MOKA (Bilgi Tabanlı Mühendislik Uygulamalarına Yönelik Metodoloji ve Araçlar), ESPRIT tarafından finanse edilen geniş kapsamlı bir Avrupa araştırma projesidir [Brimble ve Sellini 2000]. MOKA projesi, Bilgi Tabanlı Mühendislik (KBE) uygulamaları (örneğin tasarım mühendislerini destekleyen sistemler) geliştirmek için bir metodoloji tanımlamıştır. Bu metodoloji ile özellikle, havacılık ve otomotiv endüstrisindeki karmaşık mekanik ürün tasarımında bilgi toplamak ve uygulamak amaçlanmıştır.

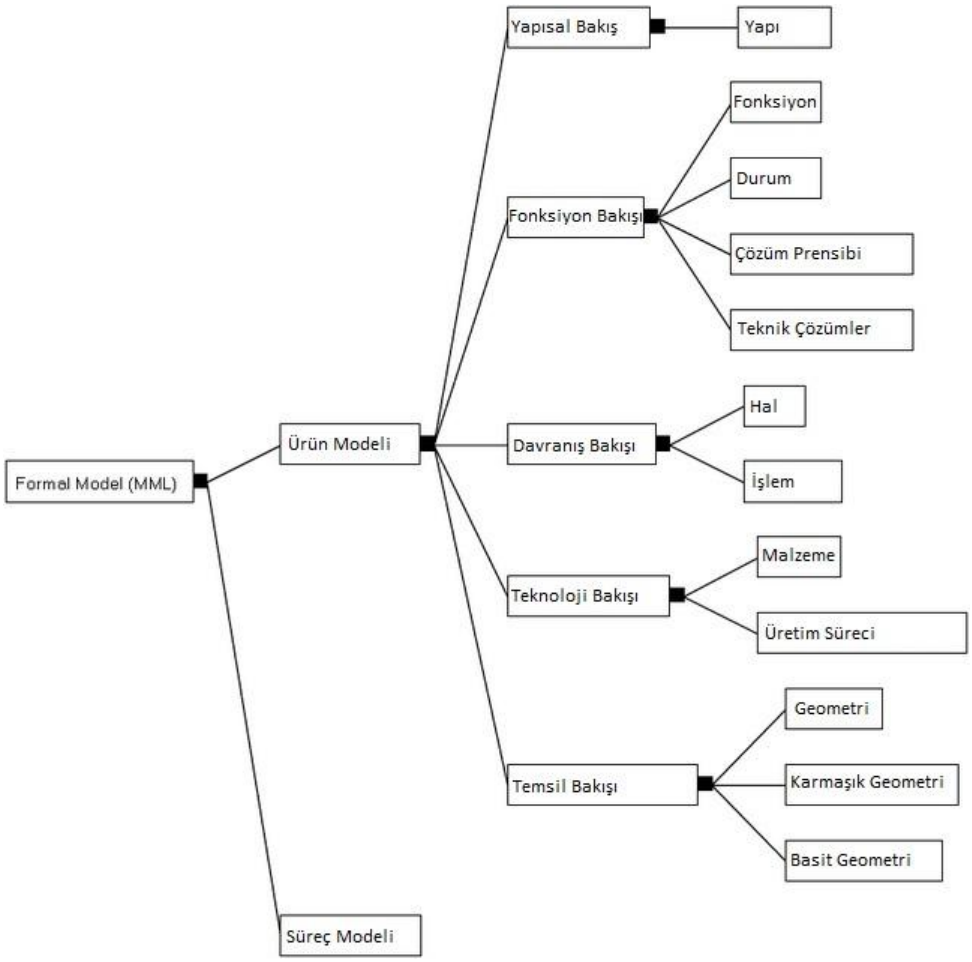
MOKA, KBE uygulama geliştirmesinde temel olarak iki mühendislik bilgi modeli tanımlar. Bunlar, formal ve informal modeldir [Brimble ve Sellini, 2000]. İnformal model; ön tanımlı biçimleri kullanan mühendislik bilgisinin yapısal, doğal bir dil temsili olarak ifade edilir. İnformal model tanımında ortak mühendislik tabanı olan ICARE (**I**llustration-Gösterim, **C**onstraint-Sınırlandırma, **A**ctivity-Faaliyet, **R**ule-Kural, **E**ntity-Öğe) temsil biçimi kullanılmaktadır. Şekil 6.3'te MOKA informal model yapısı, Şekil 6.4'te ise bir informal model örneği verilmiştir [Skarka, 2007]. Formal model ise uygulama kodu oluşturulmadan herhangi bir çıkarım düzeyindeki mühendislik bilgisinin grafiksel, nesnel-uyarlı bir temsilidir. Şekil 6.5'te MOKA formal modeli verilmiştir. Formal model oluşturmak için MOKA projesi kapsamında MOKA Modelleme Dili (MML) geliştirilmiştir. UML tabanlı olan MML, UML'nin üstün özelliklerini kullanmış ve beraberinde kendi yapısına yeni uzantılar eklemiştir. Böylece modelleme kapsamı oldukça genişlemiştir.



Şekil 6.3. MOKA informal model yapısı [Skarka, 2007]



Şekil 6.4. Bir MOKA informal model örneği [Skarka, 2007]



Şekil 6.5. MOKA metodolojisinin formal modeli [IPKM, 2007]

MML, KBE geliştirme kapsamında bir danışman rolü üstlenir [Brimble ve Sellini 2000]. Katı tanımlar içermeyip kullanıcılara esnek modelleme ortamı sunar. Böylece kullanıcılar istedikleri UML düzeyinde özgün modellemeler oluşturma avantajı elde eder. Ayrıca çekirdek MML tanımları da kullanıcılar tarafından kendi özel ilgilerine göre uyarlanabilmektedir. MOKA metodolojisi, diğer bilgi tabanlı metodolojiler ile karşılaştırıldığında daha kapsamlı olması ve bilgisayar destekli teknolojileri (CAx) desteklemesi gibi birçok üstün özelliğiyle ön plana çıkmaktadır.

MOKA projesi kapsamında yürütülen bu çalışmalar sonucunda; mühendislik bilgisinin derlenmesi, depolanması ve yeniden kullanılması, en iyi mühendislik pratiklerinin korunması ve güçlü KBE uygulama desteği vermesi gibi önemli birçok konuda ilerleme sağlandığı görülmektedir. Buna rağmen MOKA metodolojisi,

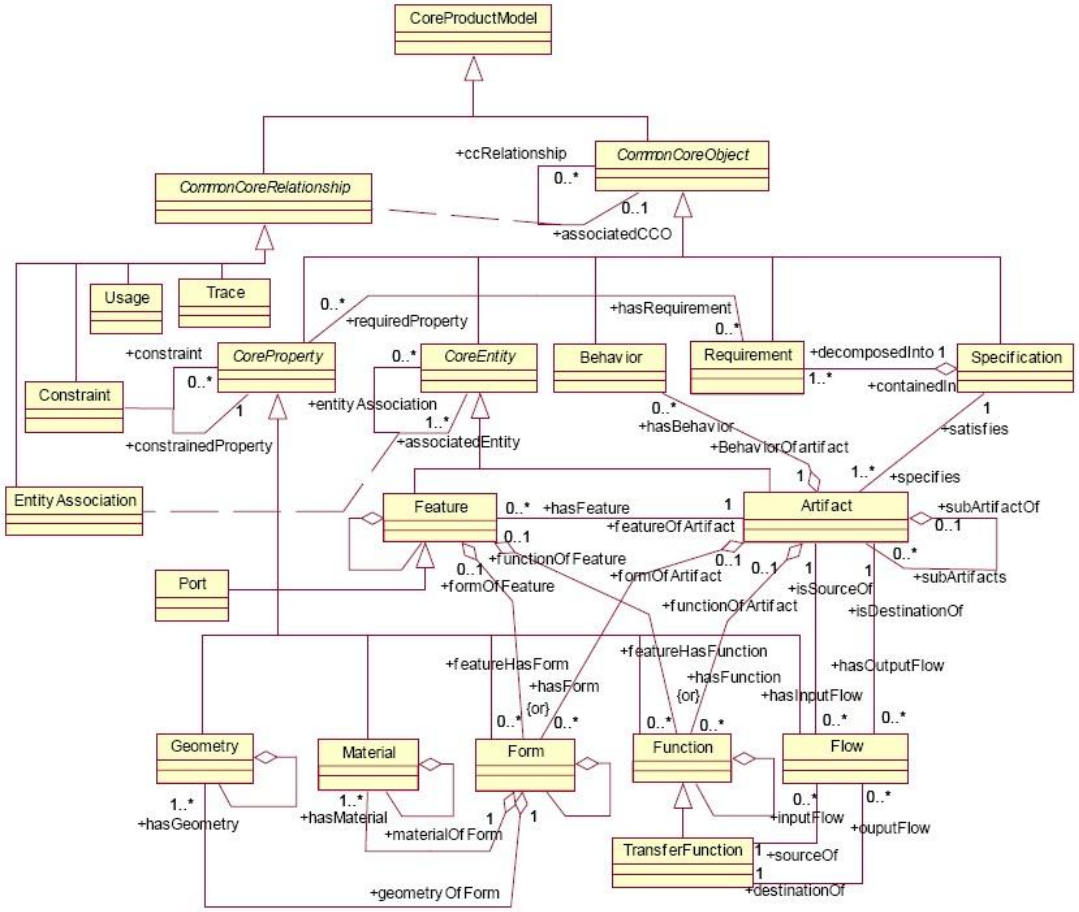
özellikle kavramsal tasarım amaçlı kullanıldığında birtakım geliştirmelere ihtiyaç duyulabilir. Bunlar:

- Tasarım şartnamesi veya ihtiyaçlar listesi belirleme
- Fonksiyon belirleme öncesi problem formülasyonu ihtiyacı
- Tüm fonksiyonu bağımsız fonksiyonlara ayrıştırma
- Kapsamlı çözüm uzayı oluşturma
- Çözüm kavramlarını detaylı değerlendirme
- Parametrik sınırlayıcıların etkin kullanımı

6.4. CPM

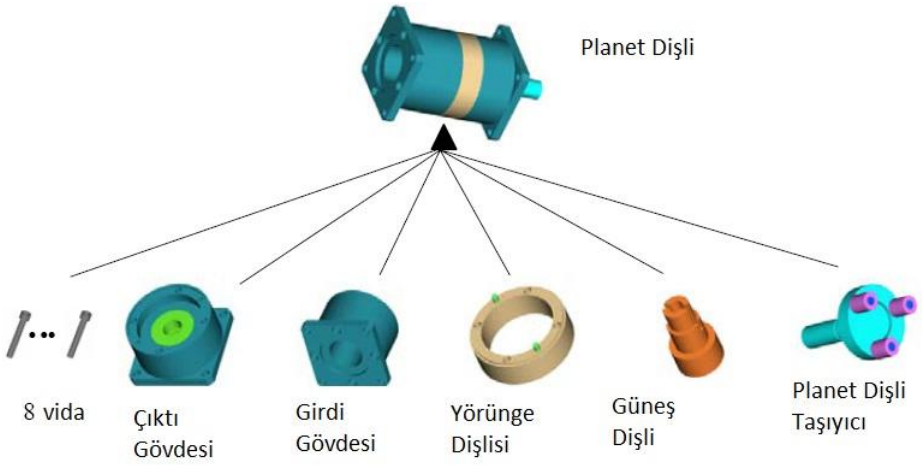
CPM (Çekirdek Ürün Modeli), Amerikan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST)'de kurum içi AR-GE projelerine destek amacıyla geliştirilmeye başlanmıştır. Daha sonra tüm PLM (Ürün Yaşam Döngüsü Yöntemi) faaliyetlerini desteklemek üzere genişletilmiştir. CPM temel olarak gerek NIST'ın kurum içi projeleri gerekse diğer bilgi tabanlı mühendislik uygulamalarında kullanılabilecek güvenilir, eksiksiz ve verimli ürün/veri modelleri geliştirmeyi amaçlamıştır. Bu amacı daha ileri seviyelere taşıyarak birtakım özellikler içeren gelecek nesil sistem temelleri geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Bu özellikler [Fenves, 2002]: (1) yeni nesil bilgisayar destekli tasarım sistemlerinin gereksinimlerini karşılaması, (2) gelecekteki yazılım araçları ile müşterek çalışabilmesidir.

CPM nesnel tabanlı bir modeldir. Bu model, ağırlıklı olarak öge-ilişki (entity-relationship) veri modelini temel alır ve UML'deki sınıf (class) ve ortak sınıf (association class) yapılarına dayanan nesne ve ilişki sınıf yapılarını kullanır [Fenves ve ark., 2005]. CPM'ye ait sınıf diyagramı Şekil 6.6'da verilmiştir. Şekil 6.6, incelendiğinde, CPM'nin temel yapısını; *fonksiyon, davranış, biçim, ihtiyaç* ve bunlar arasındaki *ilişkiler* oluşturduğu görülmektedir. CPM, MOKA gibi birçok yeni büyük projenin ortak özelliği, yeni nesil BDT yazılımlarına temel teşkil edecek fonksiyon-davranış-biçim (yapı) yaklaşımını esas almasıdır.

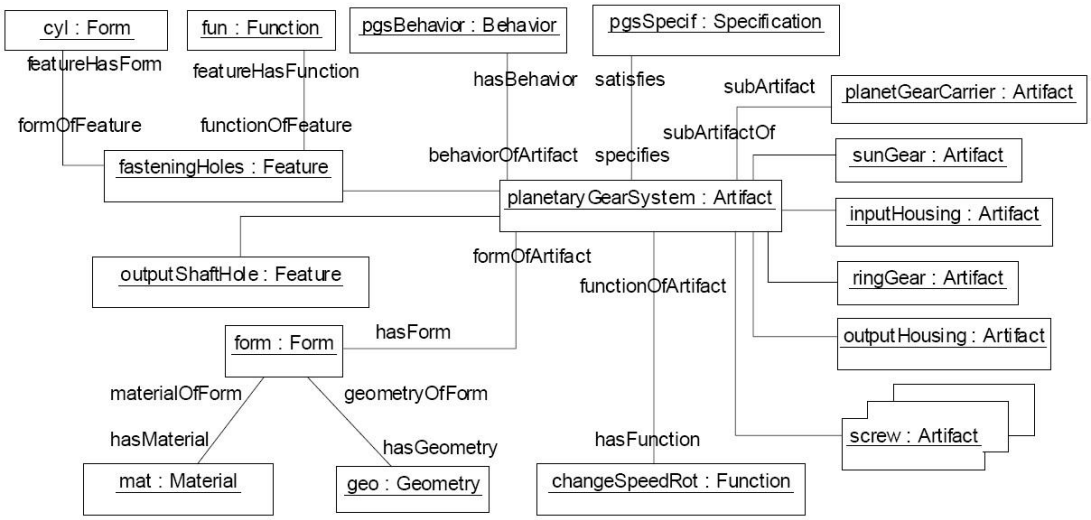


Şekil 6.6. Çekirdek Ürün Modeline ait sınıf diyagramı [Fenves ve ark., 2005]

CPM modelinin nasıl uygulandığı ve kullanıldığını göstermek için Fenves ve ark. [2005] makine sistemi olarak bir planet dişli sistemini örnek almışlardır (Şekil 6.7). Bu çalışmada planet dişli sisteminin önce, CPM sınıf yapısına göre modellenmesi daha sonra bu model için Çekirdek Ürün XML Şemasına (CPXS) uygun XML dokümanları (Şekil 6.8) oluşturulması hedeflenmiştir. Bu işlem için Java programlama dili kullanılarak bir Java grafiksel kullanıcı ara yüzü geliştirilmiştir. Şekil 6.9'da planet dişli sistemine ait bir XML yapısı verilmiştir [Fenves ve ark., 2005; Foufou ve ark., 2005].



Şekil 6.7. Planet Dişli Sistemi [Fenves ve ark., 2005]



Şekil 6.8. Planet dişli sistemi için örnek CPM diyagramı [Fenves ve ark., 2005]

```
<artifact>
<name>PlanetaryGearSystem</name>
<information>
<description>
The PlanetaryGearSystem for changing speed rotation
</description>
<documentation>
This is an assembly of 13 different
subartifacts and subassemblies
</documentation>
</information>
<behaviors>
<theBehavior name="pgsBehavior"/>
</behaviors>
<functions>
<theFunction name="changeSpeedOfRotation"/>
</functions>
<forms>
<theForm name="cylindricalForm"/>
</forms>
<satisfies>pgsSpecification</satisfies>
<features>
<theFeature name="fasteningHoles"/>
<theFeature name="outputShaftHole"/>
</features>
<subArtifacts>
<theArtifact name = "planetGearCarrier"/>
<theArtifact name = "sunGear"/>
<theArtifact name = "ringGear"/>
<theArtifact name = "inputHousing"/>
<theArtifact name = "outputHousing"/>
<theArtifact name = "screw1"/>
…
<theArtifact name = "screw8"/>
</subArtifacts>
</artifact>
```

Şekil 6.9. Planet dişli sistemini temsil eden bir XML yapısı [Foufou ve ark., 2005]

Planet dişli sisteminin CPM kullanılarak modellenmesi ve XML dokümanlarının elde edilmesi, Bilgi Tabanlı Mühendislik uygulamaları ile bir makine sisteminin etkin bir şekilde tasarlanabileceği ve modellenebileceğini göstermiştir.

Son yıllarda MOKA, CPM gibi önemli projeler halen güncelliği korumakta ve üzerinde geliştirmeler sürmektedir. Örneğin; Weissman ve ark. [Weissman ve ark., 2009], elektro-mekanik ürünler tasarım çözümleri ile ürün şartnamesi arasında CPM'yi kullanarak bir formal temsil yaklaşımı önermiştir. Burada tasarım sonucunda bulunan en son tasarım çözümlerinin ürün tasarım şartnamesine uygunluğunu değerlendiren optimum bir formal şartname (ihtiyaç) temsili amaçlanmıştır. Bu çalışmanın sonucunda örnek olarak Şekil 6.10'da bir formal ihtiyaç temsilinin XML yapısı verilmiştir [Weissman ve ark., 2009].

```
<requirement_statement id=R1.4.1>
<label>"The cost of the pot shall be less than $70."</label>
<subject_phrase id=R1.4.1.SP1>
<label>"The cost of the pot"</label>
<entity id=R1.4.1.SP1.E1>
<label>"pot"</label>
<tax>
device::kitchen_appliance::mixer
device::kitchen_appliance::cooker::
conduction_cooker
</tax>
...
<units>
units::money::dollars
</units>
</quantity>
<reference>
"cost" (R1.4.1.SP1.A1)
</reference>
</how_much_phrase>
</requirement_statement>
```

Şekil 6.10. Ürün ihtiyacının örnek XML temsili [Weissman ve ark., 2009]

CPM, sürekli gelişen bir proje olduğu için özellikleri arttıkça yeni uzantılar eklenmektedir. Bu model, mekanik veya elektro-mekanik ürünler tasarlamada kullanılırsa, tasarım sürecini kısaltma ve etkin hale getirmede oldukça katkı sağlayabilir. Buna karşın aşağıda belirtilen açılardan CPM'yi geliştirmek gerekir:

- Temel CPM sınıf yapısı basitleştirilip, alana özgü hale getirilebilir.
- Yapı-Hal-Davranış-Çözüm Prensibi-Fonksiyon bütünleşmesi sağlanabilir ve bu bağlamda model yeniden düzenlenebilir.
- Davranış modülüne; kullanım senaryoları, faaliyetler, etkileşimler gibi ek davranış diyagramları eklenebilir.
- Sistem analiz ve sentezi, problem ve senaryolardan fonksiyonlara doğru gidebilir.
- Tasarım çözümleri bulma işlemi bağımsız fonksiyonlar ile yapılabilir.

İncelenen tasarım temsil ve modelleme projeleri genelde nesnel tabanlı özelliğe sahiplerdir. Yani bu sistemler, açık, modüler ve genişleyebilir bir modelleme yaklaşımı içerirler. Diğer bir ortak özellik ise, bu projelerin FYD (Fonksiyon-Yapı-Davranış) yaklaşımına dayanmasıdır. FYD yaklaşımı, sistemlere ait şu tür sorulara cevap arar: Bu sistem; "hangi görevi yapacak?", "görev için hangi yapılar kullanılacak?", "bu görevi nasıl yapacak?". Böylece bir sistem bütünleşik olarak ele alınabilir, analiz edilebilir ve değerlendirilebilir. Ortak özelliklerin yanı sıra değinilen her projenin eksik ve üstün yanları da vardır. Çizelge 6.1'de projelerin çeşitli ölçütlere göre bir karşılaştırması yapılmaktadır. Burada UML'nin mühendislik tasarım süreci için tasarım işlem modellemede yetersiz olduğu görülmektedir. Çünkü UML, genellikle yazılım mühendisliğine hitap etmektedir. Ayrıca mühendislik tasarım sürecinde yer alan ihtiyaçlar, değerlendirme gibi önemli noktaları ifadede yetersiz kalmaktadır. Buna karşın standart bir modelleme dili olması ve birçok yazılım tarafından tanınması ise üstün yanıdır. MOKA ve CPM projeleri mühendislik tasarım sürecine önemli katkılar sağlayabilecektir. Ancak, her iki projede de fonksiyonel ifade yetersizliği, değerlendirme modülü ve fonksiyon-yapı-davranış-ihtiyaç bütünleşmesini sağlayacak tahsis (allocation) eksikliği görülmektedir. SysML

ise kavramsal tasarım için en uygun projelerden biridir. Sistem modelleme amaçlı olan bu dil; geliştirilebilirlik, FYD yaklaşımının uygulanabileceği güçlü bir model zemini sunması, farklı disiplinleri aynı platforma taşıyabilme gibi bazı özelliklere sahip olduğundan kavramsal tasarım modelleri oluşturmada büyük katkılar saylayabilecektir. Bu gerekçelerden dolayı tez kapsamında tasarım bilgi temsili ve modellemesinde SysML kullanılacaktır.

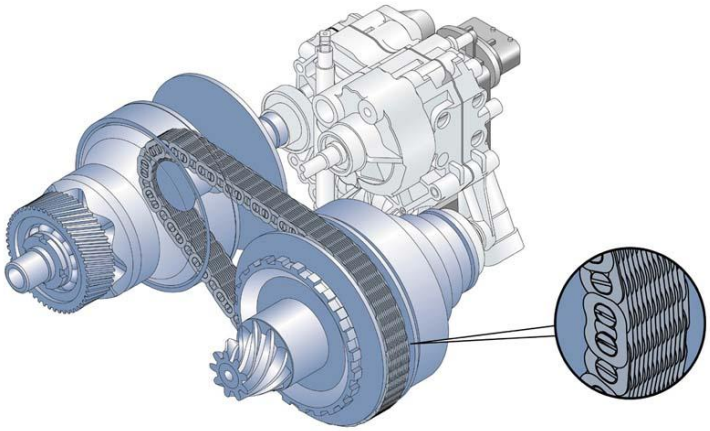
Çizelge 6.1. Yeni nesil projelerin/yöntemlerin karşılaştırılması

Proje	**Kapsam**	**Uygun olduğu tasarım aşaması**	**Kavramsal tasarım için**	
			Yetersizlikler	**Yeterlilik/Üstünlükler**
UML	Yazılım mühendisliği	Kavramsal tasarım (kısmen)	İhtiyaç yönetimi Parametrik analiz Tahsis özelliği	Standart modelleme dili
SysML	Sistem mühendisliği	Görev belirme ve kavramsal tasarım	Fonksiyon tanımı	Tahsis özelliği Farklı disiplinlerle uyumlu Değerlendirme modülü UML'ye dönüştürebilme Açık kaynak proje
MOKA	Bilgi tabanlı mühendislik	Kavramsal tasarım (kısmen)	Değerlendirme modülü Tahsis özelliği Fonksiyonel ifade	Geometrik temsil Teknoloji bakışı Süreç modeli
CPM	Bilgi tabanlı mühendislik	Kavramsal tasarım (kısmen)	Değerlendirme modülü Tahsis özelliği Fonksiyonel ifade	Fonksiyon, yapı, davranış, ihtiyaç, unsur, geometri, akış vb.

7. SysML İLE ÖRNEK BİR TASARIM PROBLEMİ MODELLEME

Bu bölümde, bir makine sisteminin kavramsal tasarımında her bir SysML diyagramı ayrı ayrı kullanılacaktır. Böylece yapılan çalışma sonucunda komple bir makine sistemine; yapı, davranış, ihtiyaçlar, ilişkilendirmeler ve sınırlandırmalar açısından bakılmış olacaktır. Çalışma kapsamındaki tüm SysML bilgileri, OMG'nin 2008'in Kasım ayında sunduğu "OMGSysML-v1.1-08-11-01" adlı orijinal kaynak dokümanı [OMGSysML, 2011] esas alınarak işlenmiş ve geliştirilmiştir. Bu doküman oldukça kapsamlı olduğundan anlatım sürecinde, SysML ve diyagramlar hakkında sadece önemli ve özet bilgiler verilmiş ve kapsamlı bir uygulama ile desteklenmiştir. SysML hakkında daha ayrıntılı bilgi için OMG'nin orijinal kaynak dokümanı incelenmelidir.

Burada, örnek olarak tasarlanacak ve modellenecek makine sistemi bir varyatördür. Varyatör, belirli devir aralıklarında çalışma özelliğine sahip olan kademesiz hız ve güç iletim mekanizmasıdır. Özellikle düzgün ivmeli ve hassas hızlarda çok tercih edilen bir mekanizma olup otomobil ve tekstil gibi sektörlerde daha çok kullanılmaktadır. Son zamanlarda yeni otomobillerde genellikle otomatik hız kademe değişim kolaylığı, sürüş konforu ve yakıt tasarrufu amacıyla kullanılmakta ve geliştirmeler sürmektedir. Şekil 7.1'de otomobillerde kullanılan örnek bir zincirli varyatör resmi görülmektedir.



Şekil 7.1. Zincirli varyatör [Audi, 2009]

Varyatör mekanizmasını modellerken toplam dokuz SysML diyagram çeşidinden faydalanılmıştır. Bunlar:

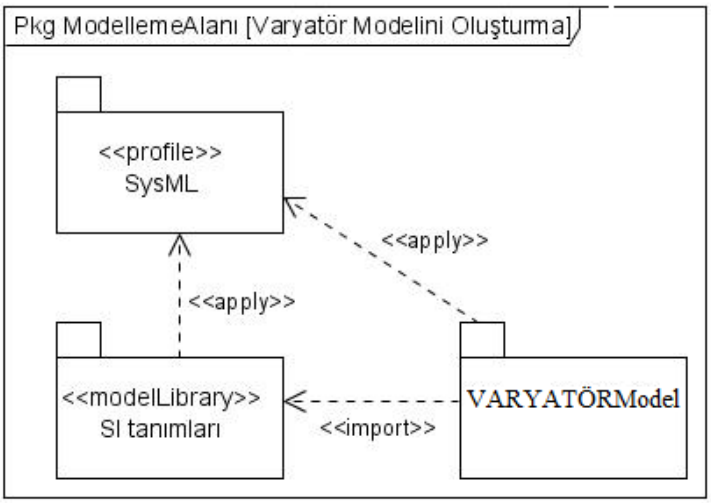
- Paket diyagramlar
- Kullanım senaryo diyagramı
- Sıralama diyagramları
- Durum çalışma diyagramı
- İhtiyaç diyagramı
- Blok tanım diyagramı
- İç blok diyagramı
- Parametrik diyagram
- Faaliyet diyagram

Yukarıdaki diyagramların her biri belirli bir amaca yönelik olup sistem tasarım ve uygulamalarında diyagram türü içeriğine göre seçilir ve kullanılır. Bu diyagramlar birbirinden tam bağımsız olmayıp birçok uygulamada bütünleşik olarak da kullanılabilmektedir.

Modellemede yazılım dili İngilizce olan Visual Paradigm ve MagicDraw UML, modelleme araçları (yazılımı) kullanılmıştır.

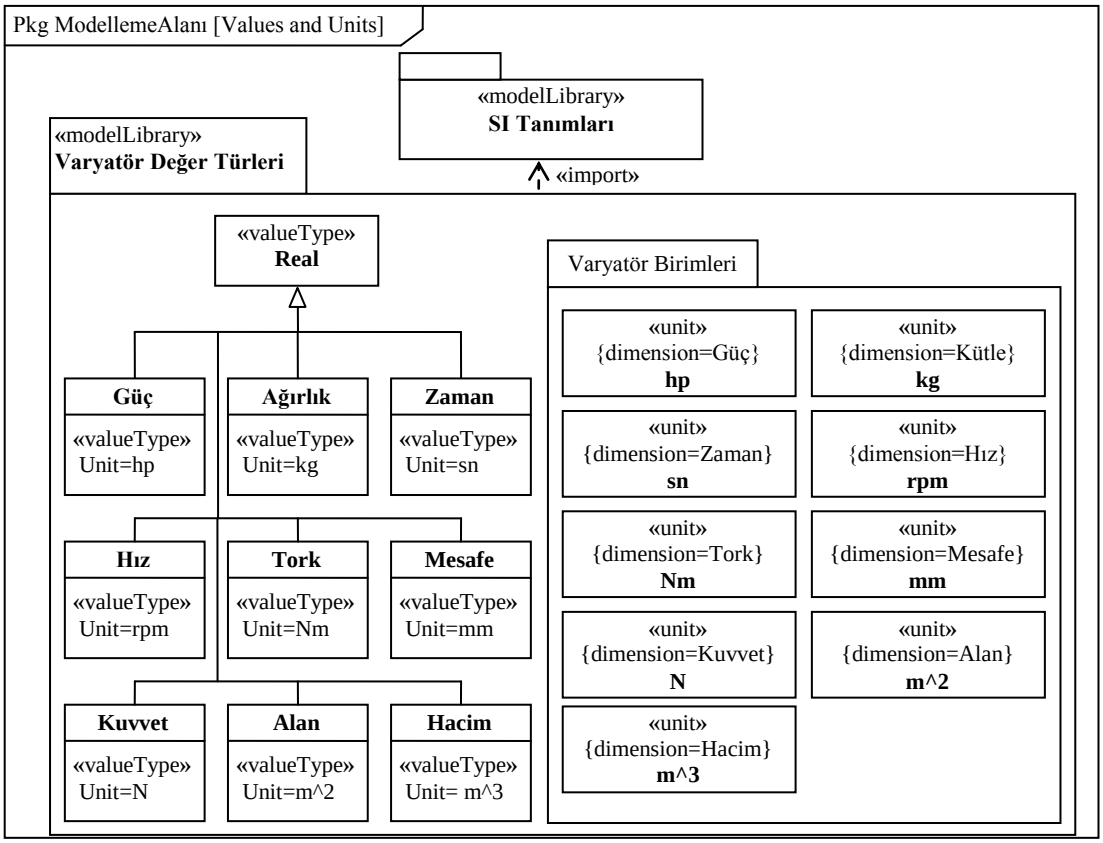
7.1. Paket Diyagramlar (Package Diagrams)

Paket diyagram, yapısal diyagramdır ve modellenen sisteme belli bir açıdan bakışı gösterir. Gösterim genel olarak paketler, paket birleşmeleri, paket dahil etme ("package import") ve bağımlılık ilişkilerini içerir. Şekil 7.2'deki paket diyagramında; varyatör sistemi ve bu sistemde kullanılacak olan birimlerin, Standart Birim (SI) kütüphanesine aktarılması ve modelin SysML profiline uygulanması gösterilmektedir.



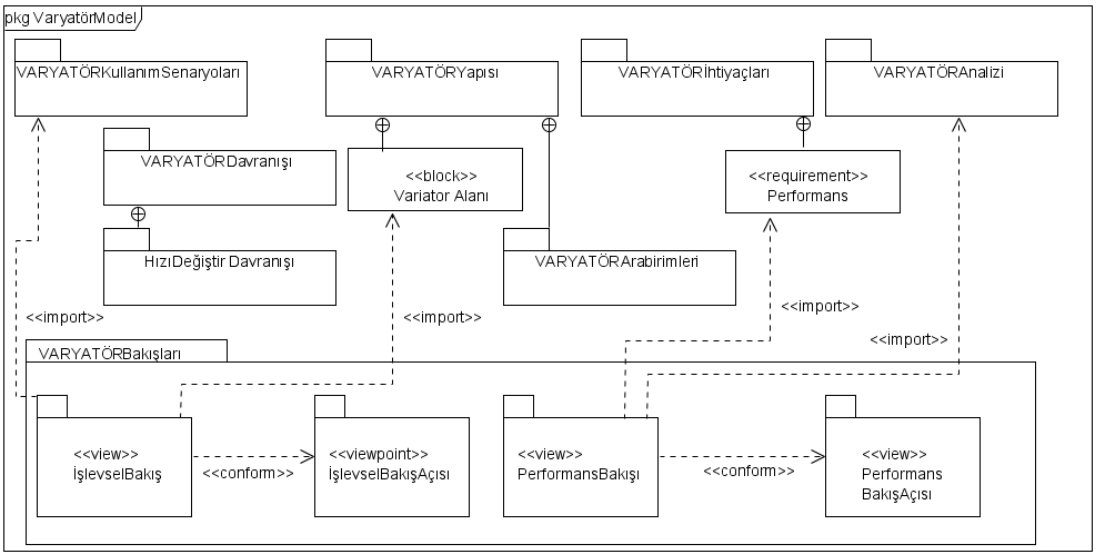
Şekil 7.2. Paket diyagramı ile varyatör için "Kullanıcı Model" yapısı oluşturma

Şekil 7.3, tasarımın mühendislik analiz aşamasında kullanılacak değer türlerini içeren bir paket diyagramını göstermektedir.



Şekil 7.3. Modellemede kullanılabilecek genel değer türleri ve birimleri

Şekil 7.4'te verilen paket diyagram ile varyatör sistemini değerlendirmede kullanılacak model yapısı gösterilmektedir. Paketlerde yer alan model elemanları ve paketler arasındaki ilişkilerin gösterimi bu diyagram ile gerçekleştirilir. Örneğin; «view» ile belirtilen "işlevsel bakış" paketi, "Varyatör alanı" bloğu içinde yer almalı ve içindeki bilgiler bu blok tarafından sağlanmalıdır. Aynı şekilde "İşlevsel bakış" paketi de "İşlevsel bakış açısı" içindeki istek ve düşünceleri sağlamalıdır. Sonuç olarak paket diyagram, tasarlanacak sistemin yapı, davranış, ihtiyaçlar ve analizinin bir arada ilişkilendirildiği ve gösterildiği bir oluşumdur.



Şekil 7.4. Paket ve Bakış kullanarak "Kullanıcı Model" yapısı oluşturma

7.2. Kullanım Senaryo Diyagramı (Use Case Diagrams)

Kullanım senaryo diyagramı, davranış diyagramı olup bir sistemden beklenen belirli bir davranışı temsil eder ve genellikle sistemden beklenen gereksinimlerin tespit edilmesi amacıyla kullanılır. Kullanım senaryosu diyagramında tipik olarak kullanım senaryoları ve bağımlılıkları ve bunların ilişkileri ile aktörler gösterilir.

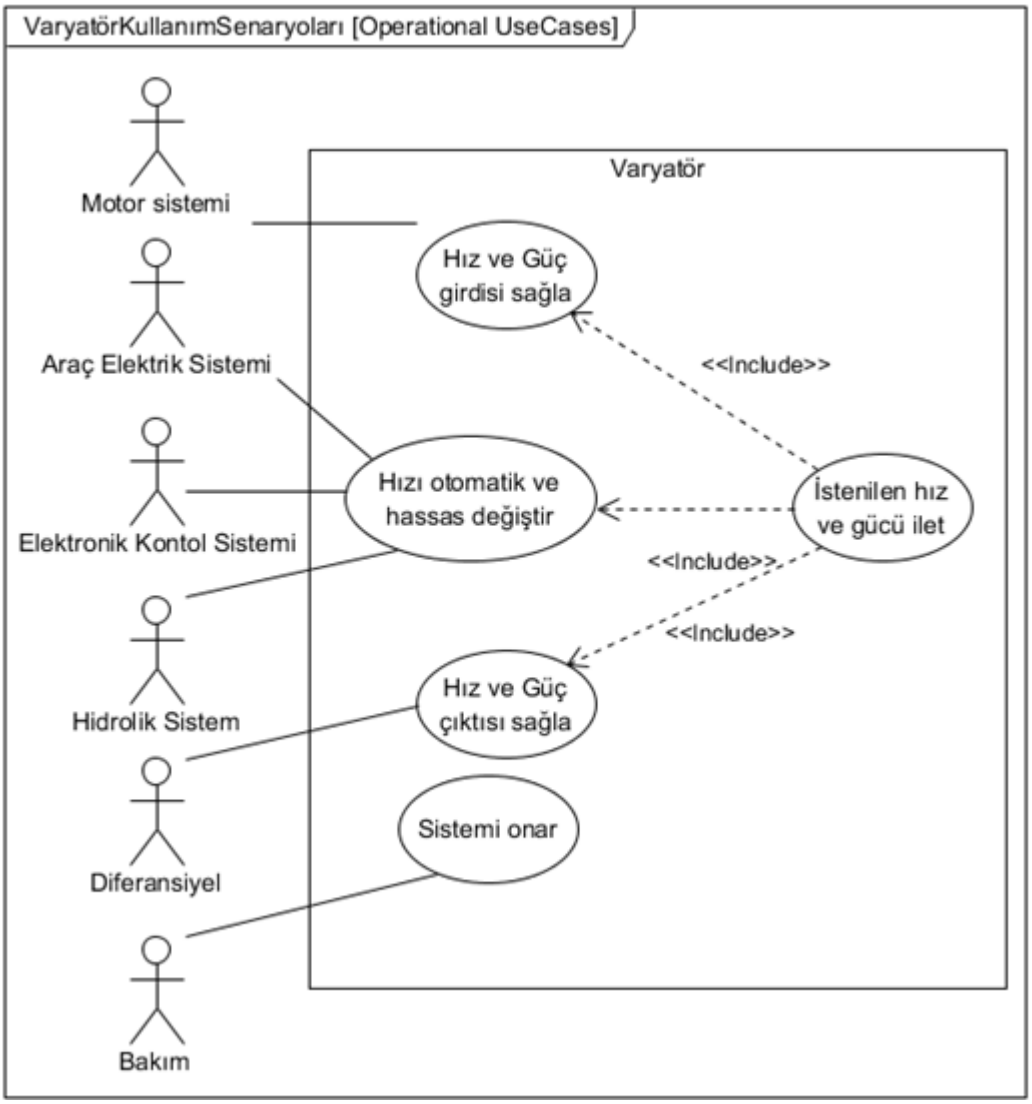
SysML, UML 2.0'dan gelen kullanım senaryo diyagramını herhangi bir değiştirme olmaksızın kullanmaya olanak sağlar. Kullanım senaryo diyagramları, bir amacı gerçekleştirmek amacıyla sistemin dış aktörleri tarafından kullanılmasını tanımlar.

Bu diyagramlar; kullanım senaryosunu, dış aktörleri ve bunlar arasındaki iletişimleri kapsar.

Kullanım senaryo diyagramları, sistemin nasıl kullanılacağını tarif eden bir yöntemdir. Kullanım senaryo ilişkileri: «communication», «include», «extend» ve «generalization» şeklindedir. «include» ilişkisi, çoklu kullanım senaryoları arasında paylaşılan ortak fonksiyonellik için bir mekanizma sunar ve her zaman esas kullanım senaryosunun bir parçası olarak kabul edilir. «extend» ilişkisi, belirli şartlar altında esas kullanım senaryosunu genişletir, opsiyonel fonksiyonellik sağlar. «generalization» ilişkisi, esas kullanım senaryo varyantlarını belirlemek için bir mekanizma sunar. Şekil 7.5'te varyatör sistemine ait bir "Kullanım Senaryo diyagramı" verilmiştir. Bu şekilde hangi aktörün hangi kullanım senaryosunu veya davranışı gerçekleştirdiği bağlantılarla gösterilmiştir. Burada esas kullanım senaryosu "İstenilen hız ve gücü ilet" olmakta ve diğer kullanım senaryoları ise «include» ilişkisi ile esas kullanım senaryosuna bağlı olmaktadır. Bunun yanında; "Varyatör" sistem sınırları da bir dikdörtgen ile belirtilmiş olup içindeki her kullanım senaryosu ilerleyen aşamalarda davranış eksenli olan sıralama, faaliyet ve durum çalışma diyagramları ile geliştirilecektir.

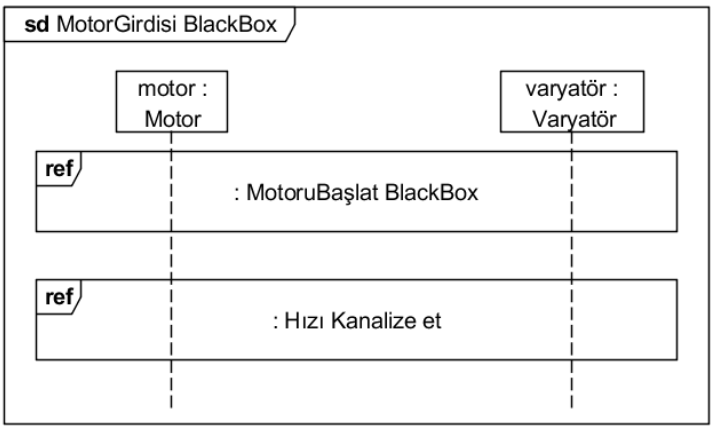
7.3. Sıralama Diyagramları

Sıralama diyagramı, etkileşim diyagramlarının en yaygın kullanılan diyagramdır. SysML, etkileşim diyagramlarından sadece sıralama diyagramını içine almaktadır. Sıralama diyagramı, aktörler ile sistemler (bloklar) veya sistem parçaları arasındaki akış kontrolünü tanımlamaktadır. Bu diyagramlar, düşey eksen boyunca ilerleyen zamana göre, ömür çizgileri adı verilen elemanlar arasında mesaj gönderilme ve alınmasını temsil eder. Ayrıca diğer sıralama diyagramlarındaki referans etkileşimleri ve çeşitli mantık kontrollerini ifade eden özel karmaşık etkileşimleri temsil edebilir.



Şekil 7.5. Kullanım Senaryo diyagramı ile varyatör sistemini gösterme

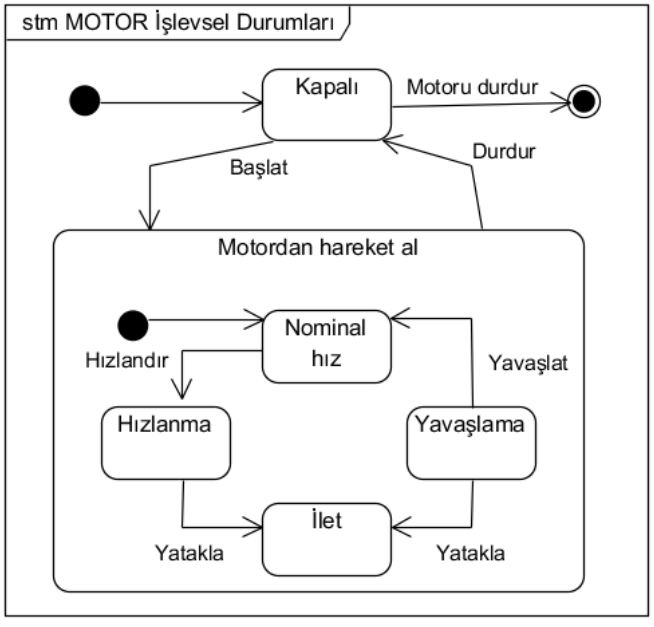
Basit bir sıralama diyagramı Şekil 7.6'da verilmiştir. Burada "Motor sistemi" aktörü ile "Hız ve güç girdisi sağla" kullanım senaryosu arasındaki akış gösterilmiştir. Şekilde, BlackBox (Kapalı kutu) tipi diyagram kullanılmıştır. Eğer daha detaylı gösterim istenseydi WhiteBox (Açık kutu) tipi diyagram kullanılması gerekirdi.



Şekil 7.6. "Hız ve güç girdisi sağla" Kullanım senaryosu için sıralama diyagramı

7.4. Durum Çalışma Diyagramları

Durum çalışma paketi, sonlu durum geçiş sistemleri vasıtasıyla aralıklı davranış modellemede kullanılan kavram kümelerini tanımlar. Dildeki karmaşıklığı azaltmak amacıyla UML'deki protokol durum çalışma kavramı SysML'den çıkarılmıştır. Şekil 7.7'de "Hız ve Güç girdisi sağla" kullanım senaryosuns ait iç çalışma yapısı, geçişler ve durumlar kullanılarak ayrıntılı olarak durum çalışma diyagramında gösterilmiştir. Burada Motor bloğunun genel çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 7.7. "Hız ve güç girdisi sağla" ile ilişkili durum çalışma diyagramı

7.5. İhtiyaç Diyagramı

İhtiyaç, yerine getirilmesi gereken koşul ya da yeteneği belirtir. Diğer bir ifade ile ihtiyaç; bir sistemin karşılaması gereken performans koşulu veya sistemin yerine getirmesi gereken bir fonksiyonu belirtebilir. Yeni bir SysML diyagram tipi olan ihtiyaç diyagramı; sadece ihtiyaçları, paketleri, diğer sınıflandırıcıları, test durumlarını ve temelleri gösterebilir. Ayrıca bu diyagram türü, ihtiyaçlar ve bunları karşılayan diğer model elemanları arasındaki ilişkileri ve metin tabanlı ihtiyaçlar için bir yapı modelleme sağlamaktadır. SysML, modelleyiciye; ihtiyaçların diğer ihtiyaçlar ve modelleme elemanlarıyla ilişkilendirilebilmesi için bir çok ihtiyaç ilişkisi tanımlamıştır. Bunlar: ihtiyaç hiyerarşisi, ihtiyaç çıkarımı, ihtiyaç karşılama, ihtiyaç doğrulama ve ihtiyaç iyileştirme ilişkileridir.

İhtiyaçların yeniden kullanımı pek çok uygulamada çok önemli olduğundan dolayı SysML, bağlı ihtiyaç (slave requierement) kavramını ortaya koymuştur. "ihtiyaç çıkarımı" ilişkisi, bunun esas (ana) kaynağından türetilmiş bir ihtiyaç ile ilgilidir. Burada esas ihtiyacı destekleyen çoklu türetilmiş ihtiyaçları belirlemede analiz gerekmektedir. Türetilmiş ihtiyaçlar genelde bir sonraki sistem hiyerarşi (ihtiyaç hiyerarşisi) düzeyli ihtiyaçlara cevap vermektedir.

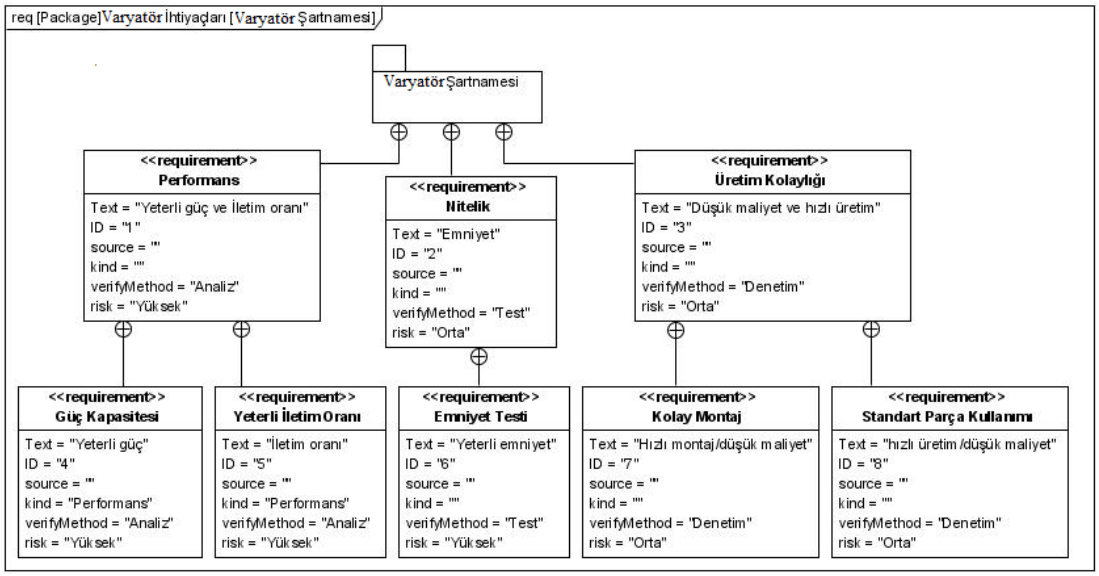
"İhtiyaç karşılama" ilişkisi, bir tasarımın veya uygulama modelinin bir veya daha fazla ihtiyacı nasıl karşılayacağını belirtir. Bir sistem modelleyici, ihtiyacı karşılayan sistem tasarım elemanlarını belirler.

"İhtiyaç doğrulama" ilişkisi, bir test durumu veya diğer model eleman doğrulanma şeklini tanımlar. SysML'de "test durumu" veya farklı adlandırılan diğer bir eleman; denetim, analiz, ispat veya test için herhangi bir standart doğrulama yöntemini temsil eden genel bir mekanizma olarak kullanılabilir.

"İhtiyaç iyileştirme" ilişkisi; bir model elemanı veya eleman kümelerinin bir ihtiyacı daha fazla iyileştirmede kullanım şeklini tasvirde kullanılabilir. Örneğin; bir

kullanım senaryosu veya faaliyet diyagramı, metin tabanlı fonksiyonel bir ihtiyacı iyileştirmek için kullanılabilir.

Şekil 7.8, varyatör ihtiyaç hiyerarşisinin oluşturulduğu bir ihtiyaç diyagramını göstermektedir. Şekil incelendiğinde, örneğin; "Performans", üst ihtiyaç olmakta ve iki alt ihtiyaca indirgenmektedir. Bu alt ihtiyaçlar: "Güç Kapasitesi" ve "Yeterli İletim oranı" olabilir. Daha detaylı ihtiyaç diyagramında; bu alt ihtiyaçlardan yeni çıkarımlar yapılabilir. Böylece sistem ihtiyaçları arasında analiz, test ve doğrulama gibi birçok ilişki kolaylıkla belirlenebilir. Bir sistemin, gerekli ve yeterli sayıda ihtiyaç ilişkisi içermesi, sistem tasarım kapsamının yeterliliğini göstermektedir.



Şekil 7.8. Varyatöre ait ihtiyaç diyagramı

7.6. Blok Tanım ve İç Blok Diyagramı

Bloklar, sistemin modüler birimleridir. Her blok, bir sistemi veya diğer elemanları tasvir eden unsurların toplamını belirtir. Bunlar, özellikler ve işlevler gibi sistemin göstermesi gereken davranışı ve durumu temsil eden yapısal ve davranışsal unsurlarını kapsayabilir. Bloklar, modüler bileşenler olarak sistemleri modellemek için genel bir yetenek sağlar. SysML blokları, sistem şartnamesinden başlayarak tasarımın bütün aşamalarında kullanılabilir ve birçok farklı sistem türüne

uygulanabilir. Bunlar bir sistemin hem mantıksal hem de fiziksel analizini ve yazılım, donanım veya insan faktörlerinin şartnamesini modellemeyi kapsar. Bloklar, ayrıca bir sistemin davranışını tasvir eden diğer unsurları veya operasyonları belirleyebilir.

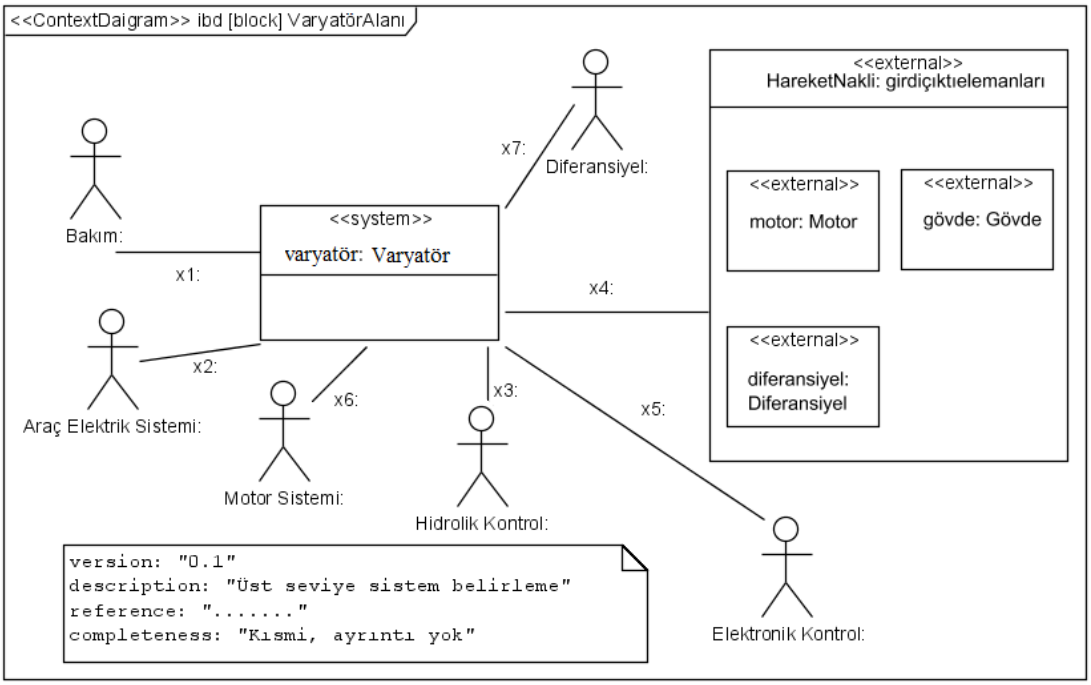
SysML'deki blok tanım diyagramı, blok unsurlarını ve (örneğin "birleştirmeler (associations)", "oluşumlar (generalizations)" ve "Bağımlılıklar (Dependencies)" gibi) bloklar arasındaki ilişkileri açıklar. Ayrıca, özellikler ve operasyonlar vasıtasıyla blokların tanımlarını ve sistem hiyerarşisi veya sistem sınıflandırma ağacı gibi ilişkileri içine alır. Burada, temel amaç, sistem hiyerarşisi veya sistem sınıflandırma ağacı gibi özellikler, işlemler ve ilişkiler vasıtasıyla blok tanımları oluşturmaktır.

SysML blokları, UML karma yapıları tarafından genişletilmiş olarak UML sınıflarına dayanır. Örneğin daha fazla özelleştirilmiş birleştirme biçimleri gibi UML sınıflarındaki bazı mevcut yetenekler, dili basitleştirmek amacıyla SysML bloklarından çıkarılmıştır. SysML blokları her zaman iç bağlayıcılar (konektörler) tanımlama yeteneğine sahiptir. Ayrıca SysML Blokları; UML sınıflarını ve yeniden kullanılabilir sınırlandırma biçimli bağlayıcı yeteneklerini, bağlayıcı uçlarının çok seviyeli yerleştirilmesini, karma birleştirme sınıfları için ortak özellikleri ve bağlayıcı özelliklerini genişletir.

UML birleşik yapı diyagramını temel alan iç blok diyagramları, benzersiz ve karakteristik değerlere sahip olan blokları belirlemede kullanılabilir. Bu diyagram, özellikler ve bunlar arasındaki bağlayıcılar aracılığıyla bir blok'un içyapısını elde etmede kullanılır. Bir blok, kendi değerlerini, parçalarını ve diğer bloğa olan referansları kapsayabilir.

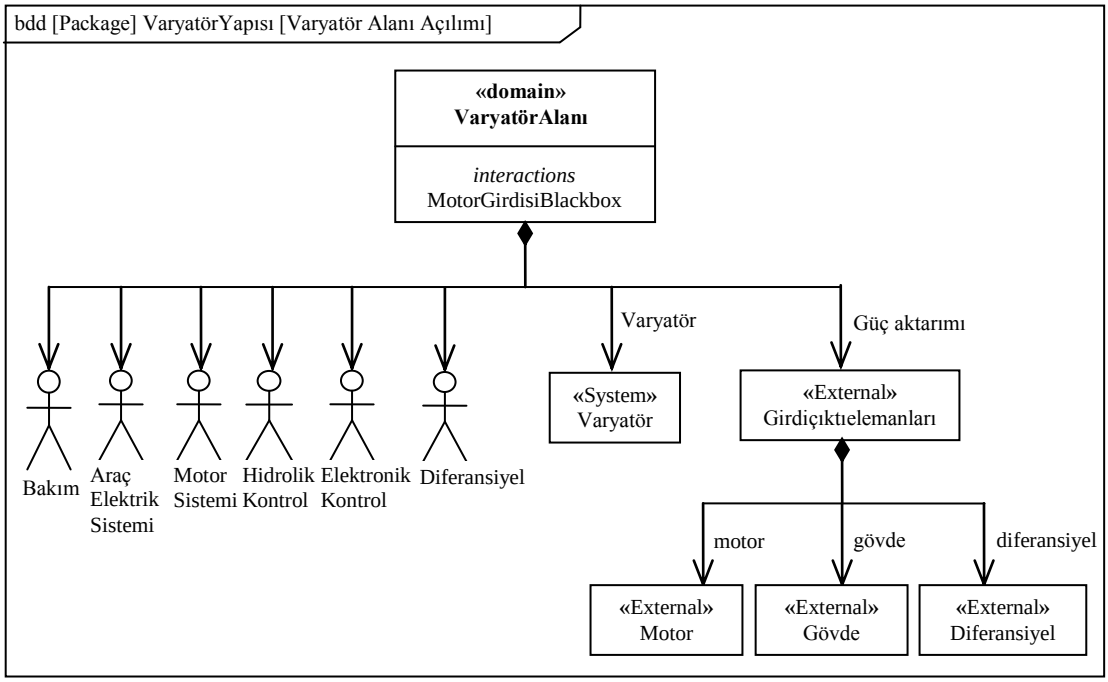
Şekil 7.9'da; varyatör sistemi, genel hatlarıyla bağlı olduğu dış aktörler ve dış sistemler açısından "Kapsam Diyagramı" adı altında bir blok diyagramı ile ifade edilmiştir. Burada dış aktörler: Bakım, Araç Elektrik Sistemi, Motor Sistemi, Hidrolik Kontrol, Elektronik Kontrol ve Diferansiyel şeklindedir. Dış sistemler ise:

Motor, Diferansiyel ve Gövde şeklindedir. Aktörler, sistemi doğrudan etkileyen, yönlendiren ve çalışmasında esas görevli olan faktörlerdir. Dış sistemler ise; sistemi dolaylı olarak etkileyen ve harici tutulabilecek dış faktörlerdir. Böylece, geliştirilecek sistemin bulunduğu ortam ve şartlardaki diğer dış faktörler tasarıma dâhil edilmiş olacaktır. Diyagramda «system» ve «external» gibi stereotipler kullanıcı tarafından girilebilirler ve SysML'de varsayılan (default) olarak tanımlı değildirler. Burada, motor ve diferansiyel hem dış aktör hem de dış sistemdir. Çünkü örneğin motor, bir aktör olarak varyatör sistemine hız girdisi sağlar, böylece sistem ana fonksiyonunu başlatır. Bir dış sistem olarak ise varyatörden bağımsız olarak çalışmasına devam eder.



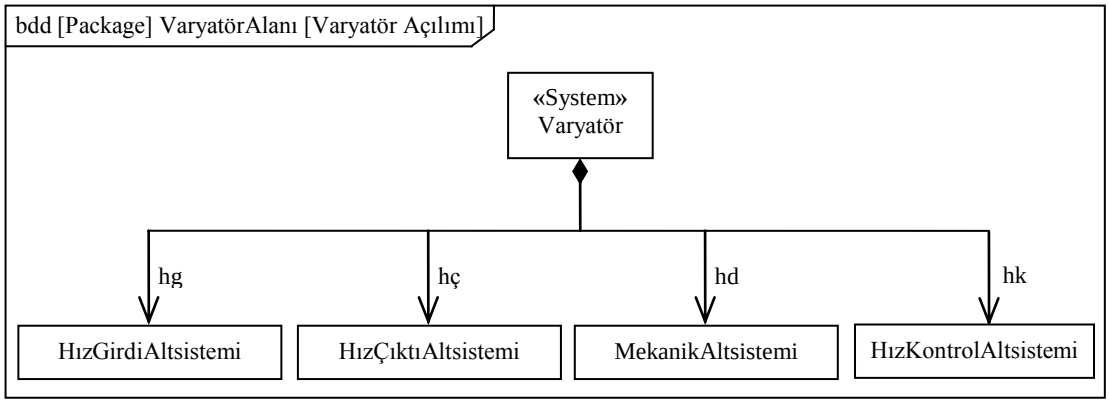
Şekil 7.9. Bağlam diyagramı ile varyatör kapsamını oluşturma

Yukarıda kapsam diyagramı verilen varyatör alanı bir blok tanım diyagramı ile Şekil 7.10'da genel hatlarıyla gösterilmiştir. Burada, varyatör tasarım alanına bağlı olan tüm aktörler ve sistemler bir sistem hiyerarşisi özelliğinde verilmiştir.



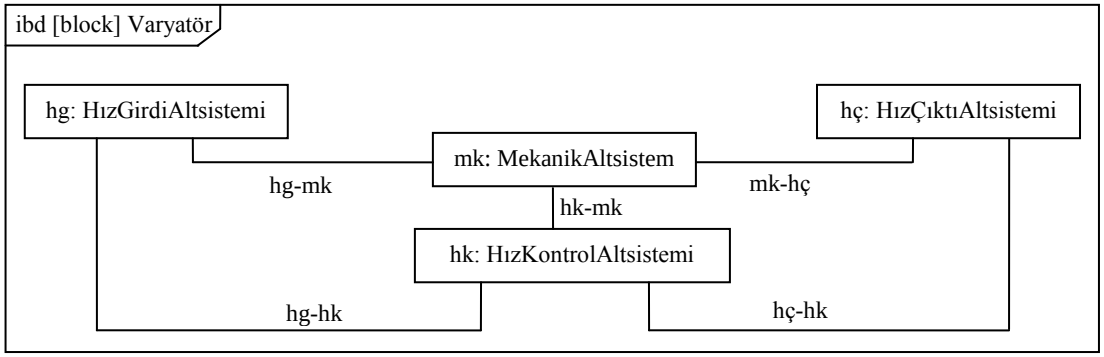
Şekil 7.10. Varyatör alanının blok tanım diyagramı ile gösterilmesi

Verilen iki blok diyagramında, varyatör tasarım alanını oluşturan dış sistem ve aktörler, aralarındaki ilişkilerle birlikte gösterilmiştir. Bundan sonraki aşamalarda daha alt seviye blokları incelenecektir. Varyatör alanının merkez bloğu olan ve "«System»" sembolü ile gösterilen varyatör bloğu, tasarlanacak ve modellenecek sistemin temel yapısını ifade etmektedir. Varyatör bloğunu oluşturan alt sistemler, bir blok tanım diyagramı ile Şekil 7.11'de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi varyatör sistemi toplam dört alt sistemden oluşmaktadır. Çalışma prensibi olarak şu yol izlenmiştir: "Hız girdi alt sistemi" sayesinde motordan gelen hız iletilecek, "Mekanik alt sistemi" sayesinde girdi hızının istenilen iletim oranında değiştirilebilmesi için mekanik düzenek sağlanacak, "Hız Kontrol alt sistemi" sayesinde mekanik alt sistemin hidrolik ve elektronik kontrolü sağlanacak ve "Hız Çıktı alt sistemi" sayesinde istenilen çıktı hızı diferansiyele aktarılacak.



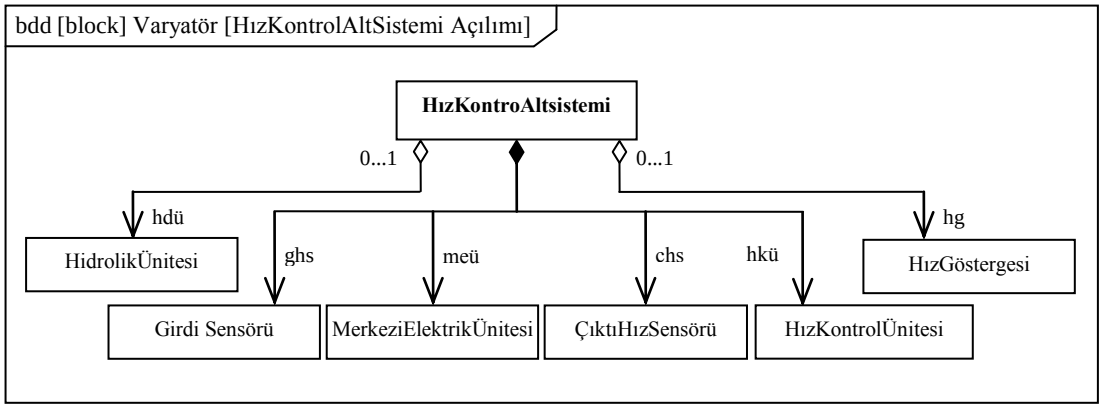
Şekil 7.11. Varyatöre ait alt sistemleri blok tanım diyagramı ile gösterme

Varyatör bloğunu oluşturan alt sistemler ve bunların birbirleriyle olan bağlantıları, Şekil 7.12'deki iç blok diyagramında açıkça görülmektedir. Burada alt sistemler arasındaki ilişki ve geçişler sembollerle gösterilmiştir. Örneğin "HızGirdiAltSistemi" ile "MekanikAltSistem" arasındaki ilişki "hg-mk" olarak isimlendirilir.

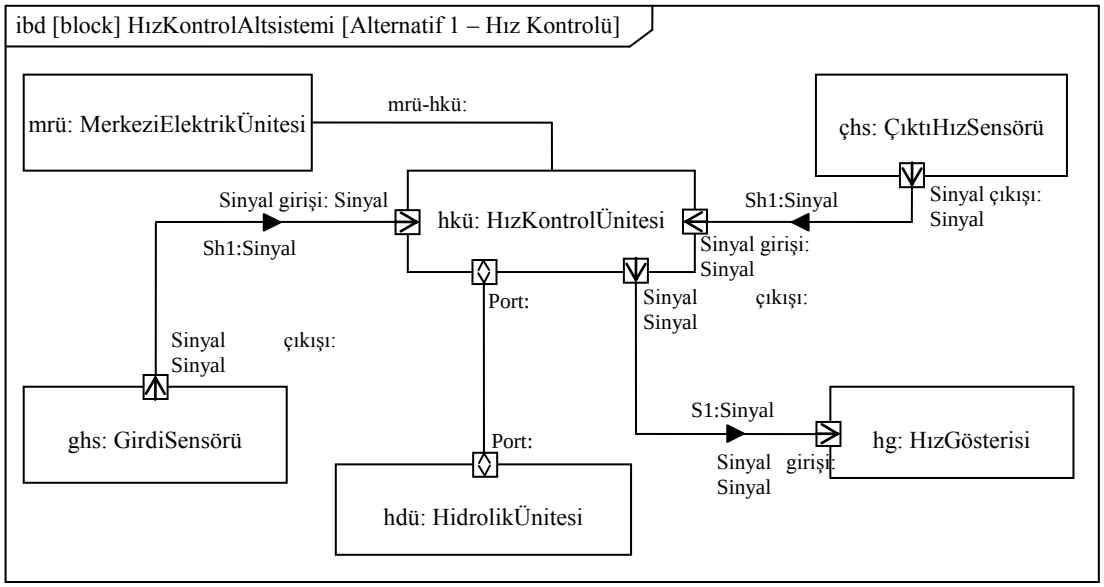


Şekil 7.12. Varyatör iç yapısının iç blok diyagramı ile gösterilmesi

Varyatör bloğunu oluşturan alt sistemlerin hiyerarşik düzen ve aralarındaki ayrıntılı ilişkilerin gösterimi blok tanım ve iç blok diyagramları ile yukarıdaki şekillerde gösterilmiştir. Benzer şekilde "Hız Kontrol alt sistemi" için de aynı yol izlendiğinde Şekil 7.13 ve Şekil 7.14'te verilen diyagramlar elde edilir.



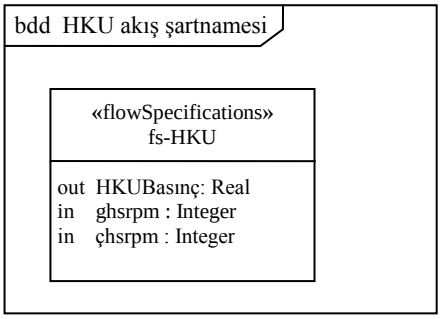
Şekil 7.13. Hız Kontrol Alt sistem yapısını blok tanım diyagramı ile gösterme



Şekil 7.14. Hız kontrol alt sistem iç yapısını iç blok diyagramı ile gösterme

İç blok diyagramı farklı akış türlerini (mekanik, sinyal, veri vb.) ayrıntılı göstermeye yarar. Şekil 7.14 incelendiğinde hız kontrol alt sistemini oluşturan alt bileşenler ve aralarındaki akış kontrolleri görülmektedir. Örneğin "Girdi sensörü" alt bileşeninden alınan hız sinyali, merkez kontrol ünitesine gönderilir ve burada gerekli mantıksal ve matematiksel işlemler sonucunda ortaya çıkan veri ve sinyaller diğer alt bileşenlere gönderilir. Buradaki akışlar, atomik ve atomik olmayan akış portları ile sağlanmıştır. Şekil 7.15'te ise hız kontrol ünitesinde kullanılacak girdi ve çıktıların ayrıntılı belirtildiği bir akış şartnamesi verilmiştir. Bu şartnamede girdiler, çıktılar ve bunların

değişken türleri verilmiştir. Akış portları ve akış şartnamesi hakkında daha ayrıntılı bilgi için OMG orijinal kaynak dokümanı incelenebilir.



Şekil 7.15. Akış şartnamesinin blok tanım diyagramında gösterimi

7.7. Sınırlandırma Blokları ve Parametrik Diyagram

Sınırlandırma blokları; performans ve güvenilirlik modelleri gibi mühendislik analizlerini diğer SysML modelleriyle bütünleştirecek bir mekanizma sağlar. Sınırlandırma blokları, bir sistemin fiziksel yapısını sınırlandıran F=m.a ve a=dv/dt gibi matematiksel ifadeleri temsil eden bir sınırlandırma ağını belirlemede kullanılabilir. Ayrıca bazı sınırlandırmalar, sistem yaşam döngüsü süresince izlenebilen kritik performans parametrelerini ve bunların diğer parametrelerle ilişkilerini tespit etmede kullanılabilmektedir.

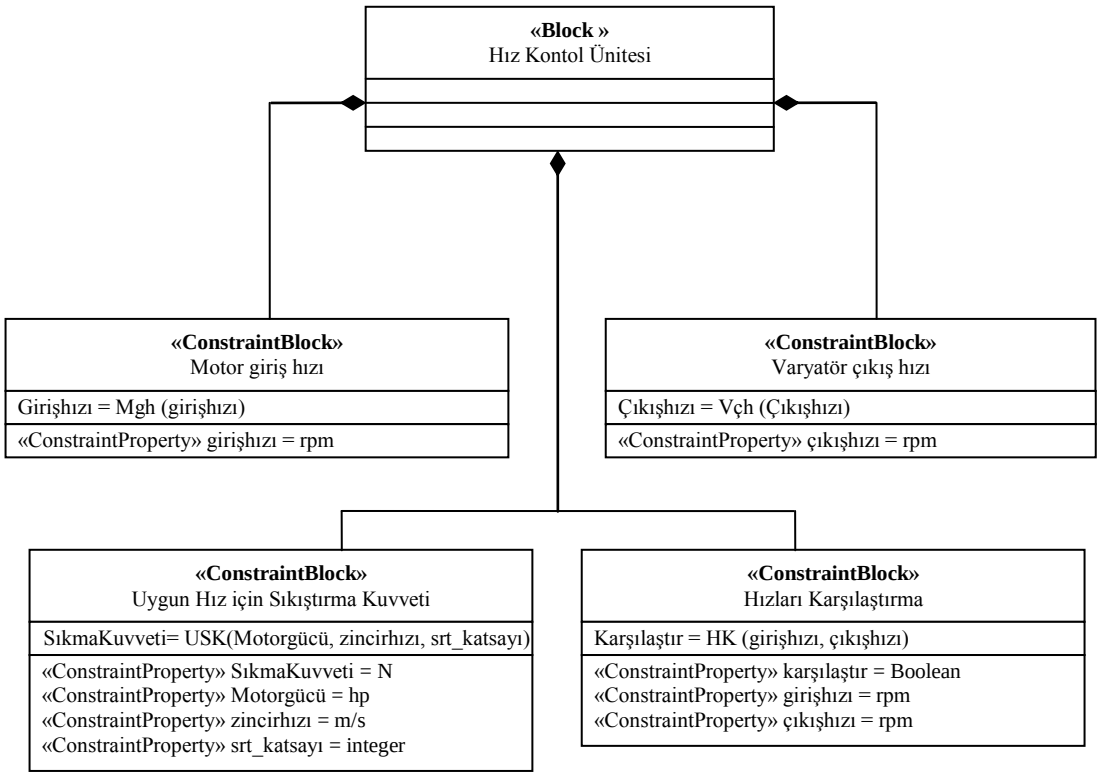
Örneğin bir sınırlandırma bloğu F=m.a gibi bir sınırlandırmayı ve F, m ve a gibi sınırlandırma parametrelerini kapsar. Sınırlandırma blokları birçok amaçla kullanılabilen yerel sınırlandırma biçimlerini tanımlar. Yeniden kullanılabilir sınırlandırma tanımları, blok tanım diyagramlarında belirtilebilir ve genel amaçlı veya alan-özel model kütüphanelerinde arşivlenebilir.

Parametrik diyagramlar, bir başka blok özelliklerini sınırlandırmak için sınırlandırma bloklarını kullanmayı kapsar. Bununla birlikte parametrik diyagramlar, dengeleme analizini (trade-off analysis) desteklemede kullanılabilir. Bir sınırlandırma bloğu alternatif çözümleri karşılaştıracak nesnel bir fonksiyon tanımlayabilir. Nesnel fonksiyon; etkinlik veya yararlık ölçülerini sınırlandırabilir ve alternatifleri

değerlendirmede kullanılacak çeşitli ölçütlerle ilişkilendirilmiş fayda fonksiyonlarına ağırlık vermeyi içerebilir. Örneğin bu ölçüt; sistem performansı, maliyeti ve arzu edilen fiziksel özellikleri ile ilgili olabilir.

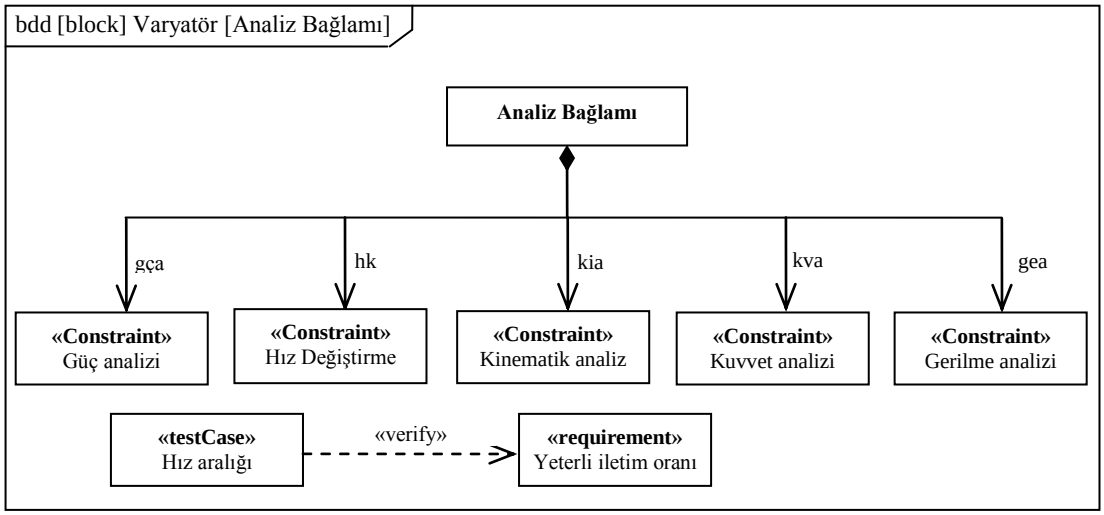
Bir parametrik diyagram, iç blok diyagramının kısıtlanmış bir şekli olarak tanımlanabilir. Parametrik diyagram, iç blok bağlamı içindeki diğer özelliklerle birlikte sınırlandırma özellikleri ve bunların parametrelerini içerebilir. Bilgisayar destekli tasarımın bilgisayar destekli mühendislikle bütünleştirilmesi özellikle bu tür diyagramlar ile yapılabilmektedir.

Sınırlandırma bloklarına örnek olarak; "Hız Kontrol Ünitesi" bloğuna ait sınırlandırma blokları, hiyerarşik bir biçimde Şekil 7.16'da verilmiştir. Parametrik diyagram oluşturulmadan önce bu şekilde gerekli sayısal denklemler ve mantıksal fonksiyonlar, sınırlandırma blokları ile belirlenir.



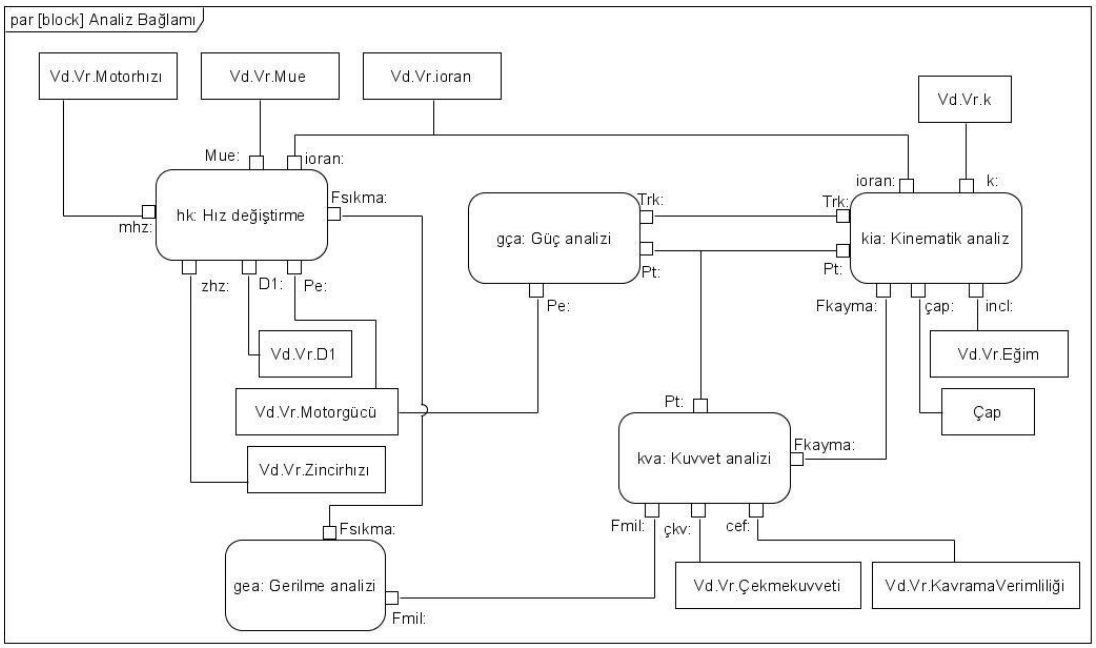
Şekil 7.16. Hız kontrol ünitesine ait sınırlandırma bloklarını belirleme

Geliştirilen bir makine sistemin istenilen fonksiyon ve ihtiyaçları karşılayabilmesi için gerekli analiz türlerinin yapılması gerekmektedir. Örneğin varyatör sisteminde yapılması gereken analiz türleri Şekil 7.17'de bir blok tanım diyagramı ile verilmiştir.

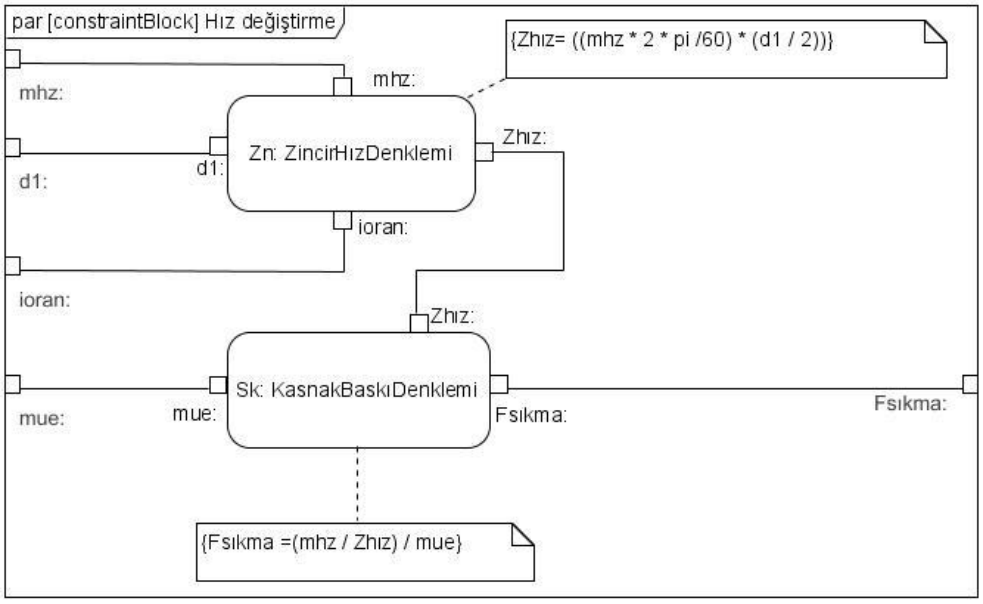


Şekil 7.17. Varyatör mühendislik geliştirmesi için gerekli analizler

Analiz kapsamı belirlenen varyatör sisteminde kullanılacak analizlerde girdi, çıktı ve analizler arası port bağlantıları, Şekil 7.18'de bir parametre diyagramında verilmiştir. Bu diyagramda dik köşeli küçük dikdörtgenlerle belirtilen parametreler kütüphaneden ya da dışarıdan girilecek anlamındadır. Örneğin; "Vd.Vr.Motorhızı" parametresi, "Vd.Vr" kütüphanesi içinden alınacak anlamını taşımaktadır. "hk" ile kısaltılan "Hız değiştirme" analizi veya sınırlandırma bloğu, köşeleri yuvarlak dikdörtgenlerle gösterilmiş olup bazı girdi ve çıktılara sahiptir. Girdileri: mhz, Mue, Zhz, D1, Pe ve ioran; çıktısı ise Fsıkma kuvveti şeklindedir. "Hız değiştir" sınırlandırma blok Fsıkma çıktısı, "Gerilme analizi" sınırlandırma blok girdisi olmaktadır. Diğer sınırlandırma blokları da benzer şekilde yorumlanabilir. Şekil 7.19'de ise "Hız değiştirme" sınırlandırma bloğu içinde yer alan matematiksel model bir parametrik diyagram ile ifade edilmiştir. Bir parametrik diyagramda gerektiğinde açıklama kutucukları kullanılarak matematiksel denklem veya benzer açıklamalar yapılabilmektedir.

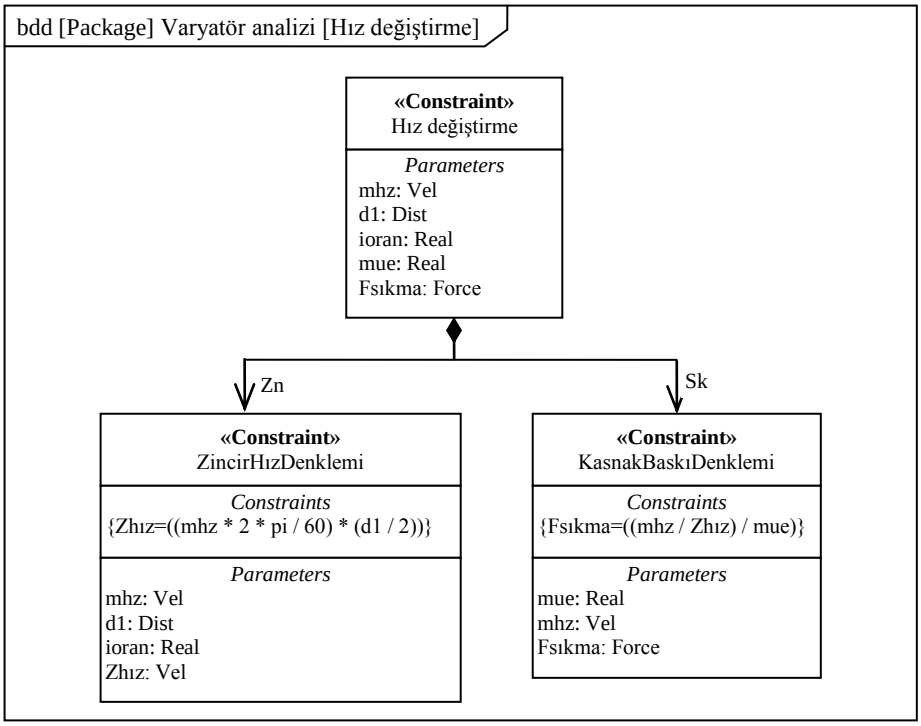


Şekil 7.18. Matematiksel analiz modelinin parametrik diyagram ile gösterimi



Şekil 7.19. Hız değiştirme modelini parametrik diyagramda gösterme

Varyatör analizi kapsamında yer alan “Hız değiştirme” sınırlandırma blok alt sınırlandırma blokları hiyerarşik biçimde bir blok tanım diyagramı ile Şekil 7.20’de verilmiştir.



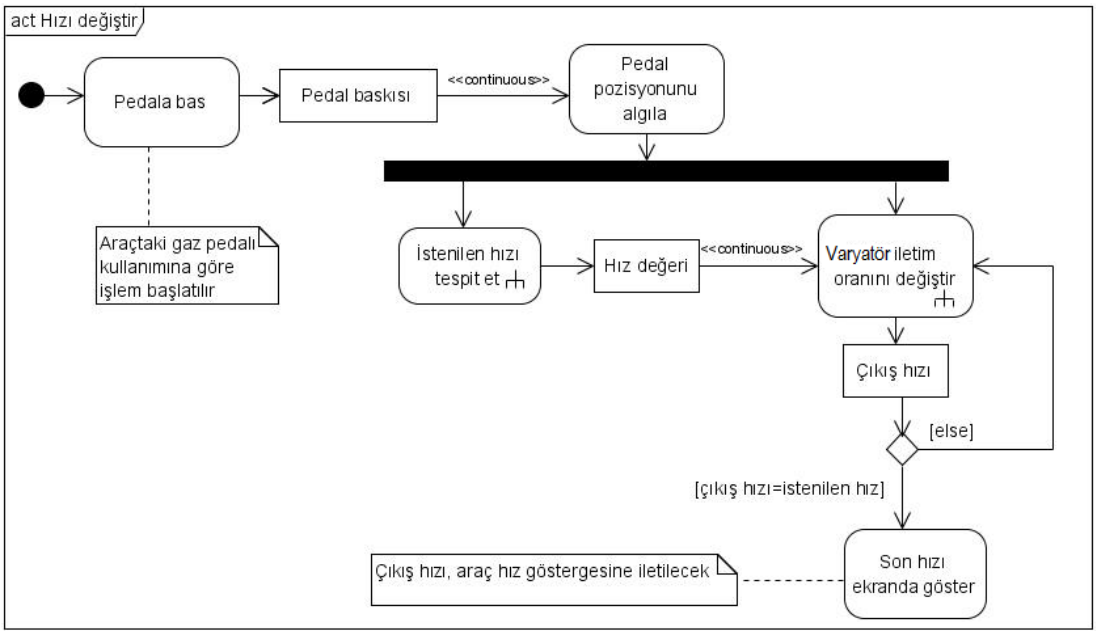
Şekil 7.20. Hız değiştirme blokuna ait parametrelerin gösterimi

7.8. Faaliyet Diyagramı

Faaliyet modelleme; diğer davranışları koordine etme için girdi, çıktı, sıralama ve koşullar üzerinde durur. Bu modelleme, belirli davranışlara sahip olan bloklara esnek bir bağlantı sağlar. Ayrıca iş sistemi modellemesinde başarı ile kullanılmaktadır.

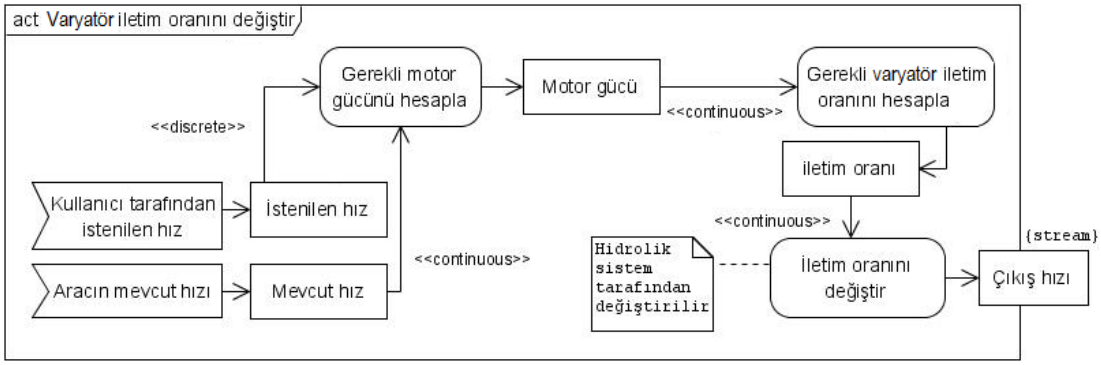
UML 2.1'de yer alan faaliyetlerde, "Kontrol" özelliği sadece eylemleri (action) başlatabilir. SysML ise, "Kontrol" özelliğine eylemleri başlatma yanında eylemleri durdurma özelliği de içerir ve böylece "Kontrol" kapsamını genişletir. SysML, "devamlı (continuous)" terimi altında serbest gruplanmış olan uzantılar getirmiş olup bilgi ve fiziksel madde akışının herhangi bir çeşidine de uygulanabilir. Diğer bir yenilik olarak SysML; karar ve nesne düğümleri yardımı ile olasılık içeren faaliyetler de sunmuştur.

Faaliyet diyagramları ile bir sistemin fonksiyon ve davranışları modellenebilir. Örneğin; varyatör mekanizmasında hız değiştirme işleminin nasıl gerçekleştiği Şekil 7.21'de bir faaliyet diyagramı ile gösterilmiştir.



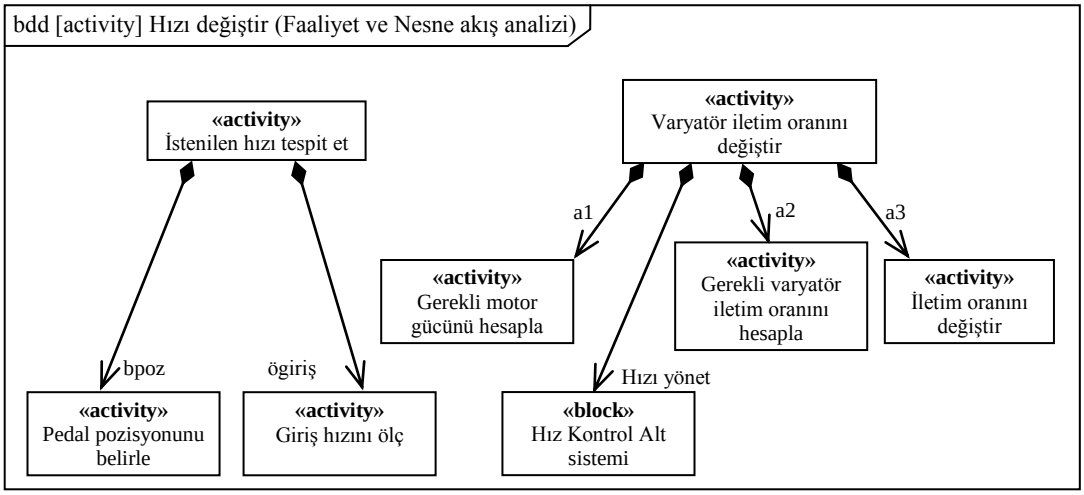
Şekil 7.21. "Hız değiştir" fonksiyonunun davranış modeli

Faaliyet diyagramları, bir veya daha fazla eylem içerebilir. Bir eylem sonucundaki akış verisini göstermek amacıyla dikdörtgen içinde nesne düğümleri kullanılır. Ayrıca bir faaliyet diyagramında içinde birden fazla eylem içeren davranışlarda (çağrı davranışı) yer alabilir. Çağrı davranışları kolon işareti ile gösterilmektedir. Buna örnek olarak Şekil 7.21'de "Varyatör iletim oranını değiştir" çağrı davranışı verilebilir. "Varyatör iletim oranını değiştir" çağrı davranışının iç eylemlerini gösteren faaliyet diyagramı Şekil 7.22'de verilmiştir.



Şekil 7.22. "Varyatör iletim oranını değiştir" davranışına ait iç yapı

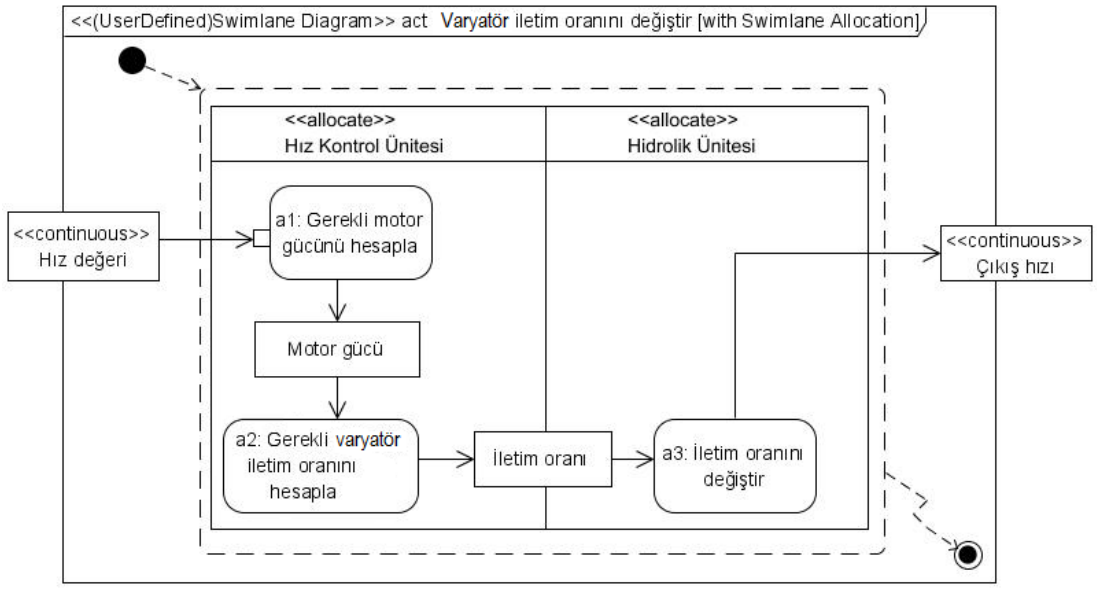
SysML'nin sunduğu önemli imkânlardan birisi de dağıtım işlemidir (allocation). Dağıtım işlemi, bir kullanıcı modelinin çeşitli yapı ve hiyerarşilerindeki organize edilmiş çapraz ilişkili elemanları göstermek için sistem mühendisleri tarafından kullanılır. Dağıtımlar, daha ayrıntılı şartname ve uygulamalarda bir kılavuz olarak tasarımın ilk aşamalarında kullanılabilir. Dağıtım ilişkisi; kesişme ilişkileri oluşturarak ve uygun biçimde bütünleştirilmiş modelin bazı parçalarını somutlaştırarak mevcut modeli yönlendirme için etkili bir yöntem sağlar. Şekil 7.23'te "Hız değiştir" fonksiyonunu oluşturan faaliyetler hiyerarşik bir biçimde sunulmuş ve ayrıca ilişkili olduğu blok diyagramı da gösterilmiştir. Bu örnekte "Varyatör iletim oranını değiştir" davranışı ile "Hız Kontrol Alt sistemi" bloğu arasında bir dağıtım ilişkisi (ilişkilendirme) olduğu görülmektedir.



Şekil 7.23. "Hız değiştir" fonksiyonunu bileşenlere ayırma

Dağıtım işlemi, bir sistem modelini meydana getiren yapı, davranış ve ihtiyaç modelleri arasında ilişkilendirmeler oluşturarak bu modelleri bütünleştirici bir özellik sağlar. Böylece ürün şartnamesinden tasarım çözümlerine kadar geçen süreçte; tasarım ihtiyaçları, tasarım fonksiyonları ve bunlara ait çözümler bir bütün olarak irdelenebilecek ve problemlere daha kapsamlı yaklaşılabilecektir. "Varyatör iletim oranını değiştir" davranışına ait içyapı, bir kulvar (swimlane) diyagramı kullanılarak Şekil 7.24'te verilmiştir. Bu diyagramda; "Hız Kontrol Ünitesi" ve "Hidrolik Ünitesi" bloklarının "Varyatör iletim oranını değiştir" davranışı ile ilişkilendirmeleri

açıkça gösterilmiştir. İlişkilendirmeler sonucunda; allocate (dağıtım) ilişkisi kullanılarak birbiriyle ilişkili olan blok ve faaliyetlerin (davranışların) bir tablosu hazırlanır. Hazırlanan tablo Şekil 7.25'de gösterildiği gibi olabilir. Buraya kadar yapılan işlemlerle; varyatör kavramsal tasarım bilgilerinin, SysML diyagramları ile modelleneceği gösterilmiştir.



Şekil 7.24. "Varyatör iletim oranını değiştir" davranışının kulvar dağıtımı

Çizelge 7.1. Varyatörün davranış ve yapı modeli arasındaki dağıtım işlemi

Table [activity] Varyatör iletim oranını değiştir [İlişkilendirme ağacı]

type	**name**	**end**	**relation**	**end**	**type**	**name**
activiy	a1:GerekliMotorGücünüHesapla	from	allocate	to	block	HızKontrolÜnitesi
activiy	a2:GerekliVaryatörİletimOranınıHesapla	from	allocate	to	block	HızKontrolÜnitesi
activiy	a3:İletimOranınıDeğiştir	from	allocate	to	block	HidrolikÜnitesi
ObjectNode	iletimoranı	from	allocate	to	block	Port:HKUBasınç

8. GELİŞTİRİLEN YENİ BİR KAVRAMSAL TASARIM İŞLEM MODELİ

Bu bölümde QFD, TRIZ ve SysML, Pahl ve Beitz'in kavramsal tasarım yaklaşımları esas alınarak geliştirilmiş karma bir kavramsal tasarım işlem modeli veya metodolojisi tanıtılacaktır. Buraya kadar yapılan kaynak araştırması, KT, TRIZ ve SysML çalışmalarıyla konular kavranmış, pek çok tecrübe edinilmiştir. Sonuç olarak; yukarıda adı geçen yaklaşımların yanı sıra burada bahsedilmeyen birçok tekil yaklaşım/metodolojinin de gelecek nesil KT ve bilgisayar destekli KT çalışmalarına tek başına zemin olamayacağı ön görülmüştür. Bu temel gerekçe ile önemli ve kapsamlı birçok yaklaşım incelenmiş, önce bunların eksik ve üstün yanları belirlenmiştir. Daha sonra ise güçlü bir KT işlem modeli geliştirme amaçlı teorik ve uygulamalı çalışmalar yapılmıştır.

Geliştirme süresince incelenen temel yaklaşımlarda önemli eksiklikler tespit edilmiştir. Bunlar:

1- KT yaklaşımında baştan sona kalite yayılımı, fonksiyon oluşturma, yaratıcı çözüm bulma ihtiyacı,
2- SysML'de fonksiyon yapısı, tasarım parametreleri, problem tanımları ve çelişkiler olmaması şeklinde belirtilebilir.

Bu eksikliklerin giderilmesinde QFD, TRIZ, FB ve SysML'den faydalanılmıştır. Sonuç olarak bu eksiklikleri giderecek yeni bir KT işlem modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen işlem modeli KT yaklaşımı üzerine kurulmuştur. İşlem modeli, tasarım şartnamesi ile başlayıp kesin iyileştirilmiş çözüm ile son bulmaktadır. Ayrıca alt fonksiyonlar oluşturmada Hirtz'in fonksiyonel temelinden (FB) [Hirtz, 2002] faydalanılmıştır. Özet olarak bu işlem modelinde:

1- QFD, kalite yayılımı,
2- TRIZ, yaratıcı ve yenilikçi çözümler bulmak,
3- FB, KT otomasyonu için yeniden kullanılabilir fonksiyon yapıları geliştirmek,

4- SysML, standart tasarım çıktıları ile disiplinler arası çalışmalara izin vermek amacıyla kullanılmıştır.

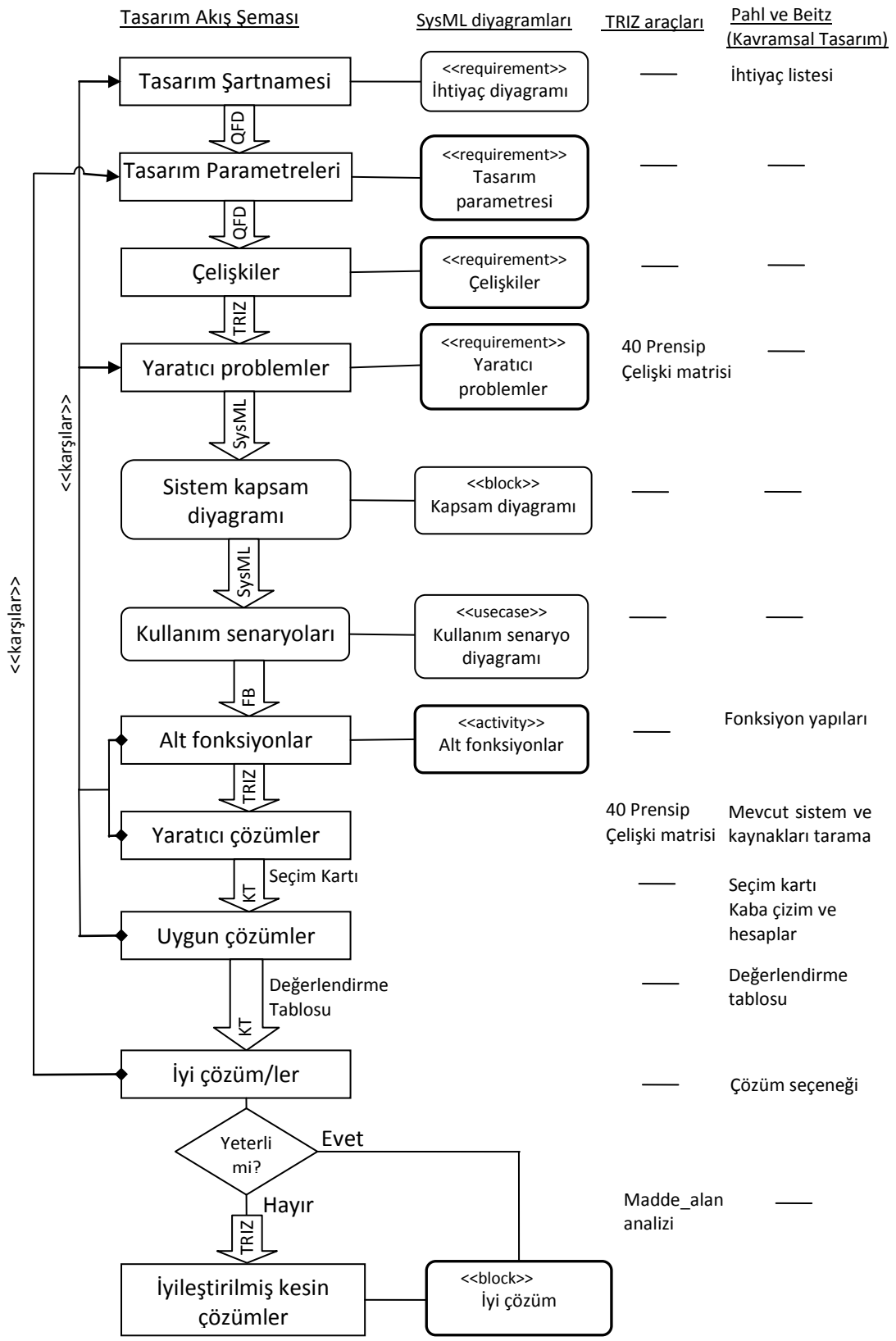
Geliştirilen KT işlem modeline ait akış şeması ve bu modelde kullanılan SysML diyagramları, TRIZ araçları, KT yöntemleri Şekil 8.1'de detaylı olarak verilmiştir. Bu modelin uygulanabilirliğini göstermek ve modeli uygulamalı anlatmak amacıyla geniş kapsamlı bir tasarım uygulaması yapılmıştır. Örnek olarak seçilen makine sistemi, otomatik mekanik su filtre sistemidir.

Bu bölümün organizasyonu sırayla şu şekilde yapılmıştır:

1- Geliştirilen KT işlem modelinin genel hatlarıyla tanıtılması
2- Otomatik mekanik su filtre sistemi için ön kaynak araştırması ve sonucunda tasarım şartnamesinin oluşturulması,
3- Örnek tasarım için işlem modeli akış şemasının sırasıyla uygulanması ve açıklanması,
4- Kesinleşen tasarım çıktılarının SysML diyagramlarıyla modellenmesi,
5- Sonuç ve tartışma.

8.1. Geliştirilen KT İşlem Modeli

İşlem modeli, aşağıda akış sırasına göre ana hatlarıyla tanıtılacaktır. Her adımda bu yeni işlem modelinin özgün yanları, diğer yaklaşımlara göre üstünlükleri ve gerek ilerideki KT gerekse yeni nesil CAD/CAE sistemlerine yapabileceği genel katkıları belirtilecektir. İşlem modelinin daha iyi anlaşılabilmesi için sonraki kısımlarda kapsamlı bir tasarım örneğiyle detaylı anlatımı yapılacaktır.



Şekil 8.1. Geliştirilen yeni KT işlem modelinin akış şeması

8.1.1. Tasarım şartnamesini düzenleme

Bir ürün geliştirmede ilk tasarım aşaması ürün planlaması ve işi belirlemedir. Bu amaçla pazar analizi, müşteri ihtiyaçlarının belirlenmesi gibi bazı yöntemler uygulanır. Bu yöntemler sonucunda nihai bir ihtiyaç listesi belirlenir. İhtiyaç listesi tasarım şartnamesi olarak ta bilinir. Tasarım şartnamesi, kavramsal tasarımın çıkış noktası kabul edilir.

Bu adımın özgün yanı ve genel katkısı: Arzu ve istek gibi ifadeler yerine 0-1 aralığında değerlerle her ihtiyacın önem derecesini belirlemek. Böylece yeni nesil bilgisayar destekli KT sistemlerine geçişte kolaylık sağlanacaktır. Ayrıca sonraki aşamada QFD ile kalite yayılımında ilişkilendirme daha hızlı yapılacaktır.

8.1.2. Müşteri ihtiyaçlarını QFD ile tasarım parametrelerine (TP) aktarma

Gerek KT yaklaşımında gerekse diğer mühendislik tasarım yaklaşımlarında kalite yayılımı etkin şekilde uygulanmamaktadır. Tasarım şartnamesinde yer alan müşteri ihtiyaçları ve diğer tasarım sınırlandırmaları tasarım faaliyetleri boyunca etkili bir şekilde her aşamaya yansıtılmalıdır. Bu işlemin yeterli düzeyde yapılabilmesi etkin bir kalite yayılım tekniğiyle olabilir. Bu tekniklerin başında QFD gelmektedir.

Bu adımın özgün yanı ve genel katkısı: QFD doğrudan kullanılmış ve QFD üzerinde herhangi bir değiştirme yapılmamıştır. Katkısı ise KT süresince bir QFD aracı olan kalite evi ile ihtiyaç listesinin önemli parametre, fonksiyon ve çözümlere aktarılması sonucunda rekabet gücü yüksek, yaratıcı, yenilikçi, kaliteli ürünler elde edilebilecektir. Böylece KT sürecinin önemli eksiklerinden çoğu giderilmiş olacaktır.

8.1.3. Tasarım parametre çelişkilerini tespit etme

TP arasındaki çelişkiler kalite evi ile tespit edilebilir. Çelişkilerin önceden dikkate alınması tasarım sonunda daha yaratıcı, kaliteli çözümlere ulaşmayı sağlayacaktır.

Bu adımın özgün yanı ve genel katkısı: Standart ilişki matrisi kullanılmıştır. Genel katkısı, fonksiyonlara yenilik seviyesi yüksek çözümler aramada yardımcı olmasıdır. Böylece çözüm iyileştirmede yineleme işlemi en aza indirilecek ve tasarım süresi kısalacaktır.

8.1.4. TP çelişkilerine TRIZ ile problem tanımları bulma

TP çelişkilerinin çözümünde TRIZ araçları etkin şekilde kullanılabilir. Çelişkileri çözmede işlem sırası: çelişkileri TRIZ'in mühendislik parametreleriyle eşleştirme, mühendislik parametrelerini çelişki matrisinde kesiştirme ve tavsiye edilen prensiplerden faydalanma olarak verilebilir.

Bu adımın özgün yanı ve genel katkısı: TRIZ çelişki matrisi kullanılmıştır. Genel katkısı, fonksiyonlara yenilik seviyesi yüksek çözümler aramada yardımcı olmasıdır. Böylece çözüm iyileştirmelerinde yineleme işlemi en aza indirilecek ve tasarım süresi de kısalacaktır.

8.1.5. Sistem kapsam diyagramları oluşturma

Çevre koşulları, ürünü doğrudan veya dolaylı etkileyen aktörler ve varsa alt sistem ya da üst sistem, ürünün tasarım sürecinde dikkate alınması gereken hususlardır. Bu hususların birlikte ifade edilmesinde SysML'ye ait kapsam diyagramı oldukça kolaylık sağlamaktadır. Bu diyagram ile tasarımın anlaşılabilirliği artacaktır.

Bu adımın özgün yanı ve genel katkısı: Klasik KT yaklaşımında yer almayan kapsam diyagramı bu yeni işlem modelinde kullanılarak KT'nin önemli bir eksikliği giderilmiştir. Genel katkıları; tasarım sürecini daha anlaşılır hale getirmek, disiplinler arası çalışmayı kolaylaştırmak, fonksiyonel bakışı güçlendirmek olarak söylenebilir.

8.1.6. Kullanım senaryo diyagramları oluşturma

Dış aktörlerin ve sistemlerin geliştirilecek ürüne göstereceği davranışlar fonksiyon belirlemeye katkı sağlayacaktır. Bu davranışları göstermede SysML'nin kullanım senaryo diyagramı kullanılabilir. Oldukça kullanışlı ve sıkça kullanılan ortak bir SysML ve UML diyagramıdır.

Bu adımın özgün yanı ve genel katkısı: Klasik KT yaklaşımında yer almaz. Ancak bu yeni işlem modelinde kullanılarak pratik bir şekilde alt fonksiyon belirleneceği örnekte ispatlanmıştır. Genel katkısı, ürünü daha kapsamlı incelemeyi teşvik etmesi, tasarımcıların tasarım yeteneğini artırması, disiplinler arası çalışmalarda katılımı artırması olarak özetlenebilir.

8.1.7. Alt fonksiyonlar belirleme ve fonksiyon yapısı oluşturma

KT yaklaşımında alt fonksiyon belirlemede önce problem formülasyonu yapılır sonra tüm fonksiyon tanımı yapılır, arkasından bu tanımdan çeşitli alt fonksiyonlar belirlenir. Ancak bu alt fonksiyon belirleme stratejisi oldukça nesnel ve geçerliliği düşüktür. Bu duruma çözüm olarak kullanım senaryo diyagramı ve fonksiyonel temel (FB) tasarım dili birlikte kullanılabilir. Fonksiyonları belirlemede kullanım senaryo diyagramı, fonksiyon isimleri, akışları; fonksiyon yapısını oluşturmada ise FB dilinden faydalanılabilir.

Bu adımın özgün yanı ve genel katkısı: KT'de kullanım senaryo diyagramı ve FB dilinin beraber kullanılmasıyla tutarlı, geçerli, yeniden kullanılabilir fonksiyonlar elde edilmiştir. Genel katkısı, standart fonksiyon yapıları ile bilgisayara dayalı uygulamalara sağlam bir zemin oluşturmasıdır.

8.1.8. Alt Fonksiyonlara çözümler arama

Alt fonksiyonlara çözüm aramada pek çok yöntem kullanılmaktadır. Bunlar "Kavramsal Tasarım" bölümünde detaylı açıklanmıştır. Bu yöntemlerin yanı sıra

özellikle yaratıcı çözümlerin bulunmasında TRIZ'in katkısı uluslar arası düzeyde ispatlanmıştır. TRIZ, alt fonksiyonlara çözüm arama amacıyla kullanılırsa 40 prensipten faydalanmak en pratik yol olacaktır.

Bu adımın özgün yanı ve genel katkısı: Alt fonksiyonlara 40 prensip ile pek çok yaratıcı çözüm bulunmuştur. Ayrıca her alt fonksiyon için ilişkili ihtiyaç ve yaratıcı problemler belirlenmiştir. Böylece geriye dönük kalite yayılımı sağlanmıştır. Bu yönüyle de geliştirilen işlem modeli özgün bir özellik kazanmıştır. Genel katkısı ise yenilik düzeyi yüksek çözümlerin kısa sürede elde edilebilmesidir.

8.1.9. Uygun çözümleri belirleme

Alt fonksiyonlara belirlenen çözümlerden bazıları yetersiz olabilir. Bu çözümler seçim kartıyla ön değerlendirmeye geçmeden önce elenir. Geriye kalan çözümlerle de çözüm birleşimleri oluşturulur. Sınırlı sayıda olan çözüm birleşimlerini daha az bir sayıya indirmek için ise seçim kartı kullanılır. Seçim kartı klasik KT sürecine ait bir yöntemdir. Yeni işlem modelinde seçim kartı değişiklik yapılmadan kullanılmıştır.

Bu adımın özgün yanı ve genel katkısı: Ön değerlendirme amacıyla standart seçim kartı kullanılmıştır. Genel katkısı, çözüm sayılarını son değerlendirme aşamasından önce azaltarak tasarımcı işini kolaylaştırmasıdır.

8.1.10. İyi çözüm(ler)e karar verme

Seçim kartıyla azaltılan çözüm birleşimi sayıları, daha detaylı bir değerlendirme yöntemiyle değerlendirilmelidir. Sonuç olarak bir ya da iki çözüm üzerinde karar verilir. Değerlendirmede ölçüt olarak sürecin başında belirlenen tasarım parametreleri ve yüzde önem dereceleri kullanılacaktır.

Bu adımın özgün yanı ve genel katkısı: Değerlendirmede amaçlar ağacı yerine ihtiyaç listesinden çıkarım yapılarak bulunan tasarım parametreleri kullanılmıştır. Böylece

tasarımın başından sonuna müşteri isteklerine bağlı olarak kalite yayılımı sağlanmıştır. Genel katkı, yeni nesil CAD sistemlerinde müşteri merkezli çalışmaya zemin hazırlanmasıdır.

8.1.11. Madde-alan analizi ile kesin çözümü iyileştirme

Değerlendirme tablosu ile son çözüm bulunmaktadır. Ancak son çözümde bazen küçük problemler veya geliştirme ihtiyaçları olabilmektedir. Böyle durumlarda son çözümün iyileştirmesi gereklidir. Bu amaçla kullanılabilecek iyi bir çözüm aracı, TRIZ'in madde-alan analizidir. Madde-alan analizi, sistemdeki problemleri büyüteç altına alarak detaylardaki sorunları etki eden-etkilenen türünden çözmeye çalışır. Altshuller bu sorunlara 76 standart çözümle cevap vermeye çalışmıştır. Burada bu çözümlerden faydalanılmıştır.

Bu adımın özgün yanı ve genel katkısı: Klasik KT yaklaşımında geliştirme işlemleri değerlendirme tablosuyla biter. Yeni işlem modelinde ise bu sürecin sonuna madde-alan analizi eklenmiştir. Böylece ileri aşamalar olan şekillendirme ve ayrıntılı tasarımlarda ortaya çıkabilecek birçok aksaklık önceden giderildiğinden tasarım süreci kısaltmış olur. Buna ek olarak patent düzeyli çözümlere ulaşmak daha kolay olabilecektir. Çünkü çözüm arama ve geliştirmede patent tabanlı geliştirilen ve önemi uluslar arası kapsamda bilinen TRIZ teoremi kullanılmıştır. Genel katkı, ARIZ gibi güçlü bir problem çözme algoritmasına rakip olabilecek sistematik bir karar veya iyileştirme mekanizması geliştirmektir.

8.1.12. Tasarım çıktılarını SysML ile modeleme

Mevcut mühendislik tasarım modellerinin en büyük eksiklerinden biri, tasarım çıktılarının standart bir veri yapısında ifade edilememesidir. Özellikle geometrik tasarım temsillerin ifadesi (STEP, IGES vb.) halen mümkün olsa da kavramsal çözümlerin ifade edilmesi üzerinde çalışmalar henüz devam etmektedir. Diğer bir eksiklik ise tasarım faaliyetinin bir mühendisin değil her mühendisin özel bir çaba göstermeksizin kolay anlayabileceği ortak bir tasarım platformunun olmamasıdır.

Ortak platform sağlandığında disiplinler arası çalışma daha da kolaylaşacak ve verimli sonuçlar elde edilecektir. Bu yeni işlem modelinde bahsedilen sorunların çözümü için halen en güncel çalışma olan SysML modelleme dili kullanılabilir.

Bu adımın özgün yanı ve genel katkısı: Tasarım çıktıları, SysML ile ifade edilebilmiştir. Örnekle desteklendiğinde tasarımcıların kolay anlayabileceği tasarım çıktılarına ulaşıldığı görülmüştür. Genel katkısı, yeni nesil CAD sistemlerinin ihtiyacı olan işbirliğine dayalı tasarıma yönelik doğrudan bir çözüm olmasıdır.

Aşağıda kısaca hangi tasarım çıktılarının hangi SysML diyagramlarıyla modellendiği ve genel katkısı tartışılmıştır. Öte yandan SysML'in içinde olmayan birçok özellikte SysML kütüphanesine eklenmiştir. Böylece SysML'nin eksikleri de giderilmiştir.

Tasarım şartnamesini ihtiyaç diyagramı ile modelleme

KT ihtiyaç listesi, ihtiyaç diyagramı ile birebir örtüşmektedir. SysML'nin nesnel tabanı sayesinde ihtiyaçlara ait önem derecesi, metin bilgisi gibi birçok bilgi rahatlıkla girilebilir. Öte yandan açık kaynak sistem olmasıyla istenildiğinde bu bilgi tabanı genişletilebilmektedir.

Tasarım parametrelerini ihtiyaç diyagramı ile modelleme

SysML'de tasarım parametresi adında bir özellik yoktur. Bu durum SysML'de geliştirilmesi gereken bir özelliktir. SysML diyagramları içine yerleştirmek gerektiğinde en uygun diyagram ihtiyaç diyagramıdır. Ayrıca yeni bir <<stereotype>> tanımıyla da tasarım parametreleri istenilen sayı ve özellikte kütüphaneye eklenebilir.

TP çelişkilerini ihtiyaç diyagramı ile modelleme

SysML'de çelişki kapsamlı bir özellik yoktur. Bu durum SysML'de geliştirilmesi gereken bir özelliktir. SysML diyagramları içine yerleştirmek gerektiğinde en uygun

diyagram ihtiyaç diyagramıdır. Ayrıca yeni bir <<stereotype>> tanımıyla da TP çelişkileri istenilen sayı ve özellikte kütüphaneye eklenebilir.

Yaratıcı problem tanımlarını ihtiyaç diyagramı ile modelleme

SysML'de problem tanımı adında bir özellik yoktur. Bu durum SysML için geliştirilmesi gereken bir özelliktir. SysML diyagramları içine yerleştirmek gerektiğinde en uygun diyagram ihtiyaç diyagramıdır. Ayrıca yeni bir <<stereotype>> tanımıyla da problem tanımları istenilen sayı ve özellikte kütüphaneye eklenebilir.

Alt fonksiyonları blok diyagramı ile modelleme

SysML'de alt fonksiyonlar kapsamlı bir özellik yoktur. Her ne kadar <<activity>> kavramı fonksiyona yakın olsa da daha çok davranış amaçlı geliştirilmiştir. Bu durum SysML için geliştirilmesi gereken bir özelliktir. SysML diyagramları içine yerleştirmek gerektiğinde en uygun diyagram blok diyagramıdır. Ayrıca yeni bir <<stereotype>> tanımıyla da alt fonksiyonlar istenilen sayı ve özellikte kütüphaneye ilave edilebilir.

Kesin çözüm seçeneğini blok diyagramı ile modelleme

Bulunan son çözüm yapısı (çözüm varyantı), blok diyagramı ile birebir örtüşmektedir. Blok diyagramda çözüm yapısını oluşturan tüm sistem/alt sistemler istenilen genişlikte parametre sayısı ve içeriği ile birlikte verilebilir.

Buraya kadar açıklanan yeni KT işlem modeli, bir tasarım örneği ile açıklandığında daha anlaşılır, somut bir hale gelecektir. Bundan sonraki kısımlarda geliştirilecek tasarım örneği hakkında yapılmış geniş çaplı bir kaynak araştırması verilecek. Arkasından işlem modeli son aşamaya (kesin kararı iyileştirme) kadar uygulanacaktır.

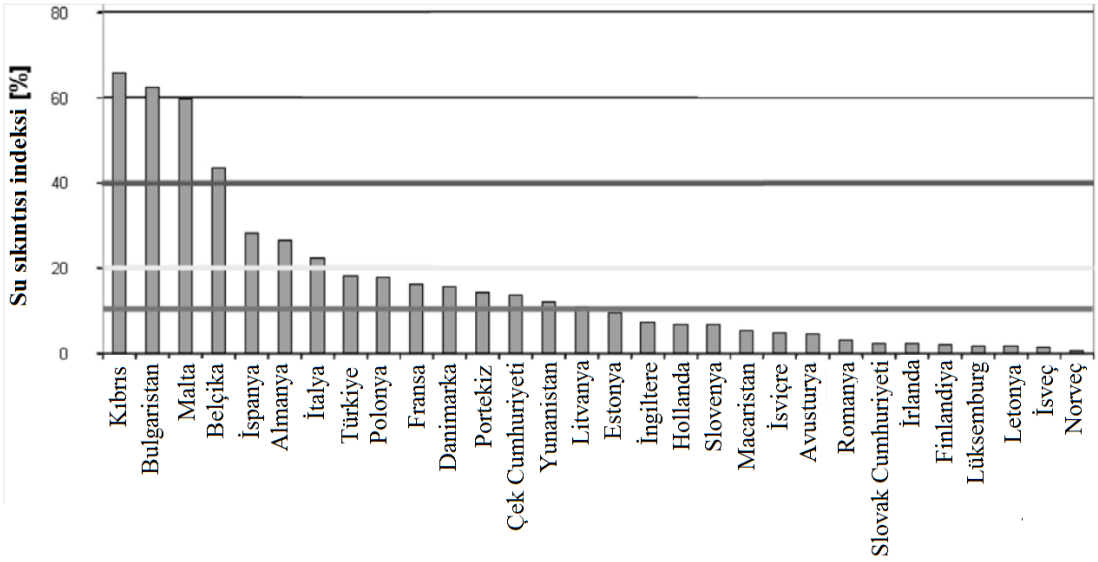
8.2. Ön Arıtma Amaçlı Otomatik Mekanik Su Filtre Tasarımı

Tez kapsamında suyun ön arıtmasında kullanılacak tam otomatik mekanik bir filtre cihazını geliştirmek amaçlanmıştır. Bu örnek hem geliştirilen yeni KT işlem modelinin uygulanabilirliğini test etmek hem de patent düzeyinde yenilik içeren bir su filtre cihazı geliştirmek amacıyla seçilmiştir.

Bir ürün tasarımı yapılmadan önce ürün planlaması ve yapılacakların kesin olarak belirlenmesi (tasarım şartnamesi) gereklidir. Bu amaçla akademik ve ticari birçok çalışma incelenmiştir. Aşağıda önce filtre sistemleri hakkında detaylı bilgi verilecek sonra güncel akademik ve ticari çalışmalardan önemli bir kısmı özetlenecek ve sonuç olarakta tam otomatik bir mekanik filtre tasarımında gerekli ihtiyaçlar listesi oluşturulacaktır.

8.2.1. Su filtreleme

İnsan hayatı için en önemli unsurlardan biri sudur. Su kaynakları, her geçen gün çeşitli sebeplerle kirletilmektedir. Bu sebeplerin başında kentsel ve endüstriyel atık sular gelmektedir [Samsunlu 2006]. Atık suların serbest halde doğaya bırakılması, gerek insan sağlığı gerekse doğa dengesi açısından oldukça zararlıdır. Su kaynaklarıyla ilgili diğer bir olumsuz durum ise; dünyada kişi başına düşen su miktarının her yıl azalmasıdır. Bu duruma bir gösterge olarak Şekil 8.2'deki grafik verilebilir [Bixio ve ark. 2006]. Burada Avrupa ülkelerinin gelecekte önemli bir su sıkıntısı çekebileceği öngörülmektedir. Grafik incelendiğinde Türkiye'nin de aynı risk altında olduğu görülebilir.



Şekil 8.2. Avrupa ülkelerindeki su sıkıntısı indeksi [Bixio ve ark., 2006]

Ülkemiz ve diğer bazı Akdeniz ülkelerinin gelecekte yaşayabileceği su sıkıntısı rakamlarla Çizelge 8.1'de verilmiştir [Samsunlu, 2006]. Çizelgeye göre, çeşitli ülkelerin kişi başına düşen kullanılabilir su miktarları 1950'den 2050'ye doğru giderek azalmaktadır. Benzer durum diğer dünya ülkeleri içinde geçerlidir [Samsunlu, 2006].

Çizelge 8.1. Bazı ülkelerdeki su miktarlarının yıllara göre değişimleri

Yıllar / Ülkeler	1950	2025	2050
Kıbrıs	1400	1000	900
Mısır	1000	550	450
İsrail	500	350	300
Ürdün	355	150	100
Lübnan	2000	1050	1000
Libya	1000	400	350
Suriye	2100	750	500
Türkiye	**3600**	**2250**	**1900**

Tüm bu olumsuzluklara rağmen su sıkıntısını önleme amaçlı bazı önlemler alınabilir. Önlemler iki grupta incelenebilir. Bunlardan ilki, kullanılacak suyun (endüstri, içme, sulama vb. amaçlı olan) doğru yöntemle etkin şekilde arıtılması ve kullanılması; diğeri ise atık suların kontrol altına alınmasıdır. Endüstride temiz suyun yeniden

kullanılması, su ve enerjide tasarruf sağlayacaktır. Suyun etkin ve sağlıklı bir şekilde ilk veya yeniden kullanılmasında doğru yöntem seçmek önemlidir. Bu yöntemler genelde bazı temel arıtma adımları içermektedir. Bunlar: topaklaştırma, çökeltme, filtreleme ve dezenfeksiyon olarak sıralanabilir. Aşağıda dört temel arıtma adımı özetlenecektir.

Topaklaştırma

Bu yöntem genellikle arıtma işlemlerinin ilk adımını oluşturmaktadır. Amaç, kirli su içindeki asılı halde bulunan parçacıkların su dibine kolayca çökelmesini sağlamaktır. Bunun için suya, alüminyum sülfat gibi çeşitli kimyasal maddeler ilave edilir. Kimyasal madde etkisiyle küçük kir parçacıkları birleşir ve daha büyük parçacıklar oluşur. Böylece çökelme işleminin hızlanmasına zemin hazırlanmış olur.

Çökeltme

Topaklaştırma ön işlemiyle oluşturulmuş büyük çaplı kir parçacıkları su havuzunda tabana çökecektir. Böylece üstte kalan su hacmi başka bir ortama kolayca taşınabilir. Çökeltme işlemi ile sadece sudaki kaba kirler, tortular kaldırılabilir. Genellikle bu aşama sonrasında filtreleme veya dezenfeksiyon işlemlerine geçilir.

Filtreleme

Filtreleme, basit olarak bir akışkan veya gaz içindeki istenmeyen maddelerin kaldırılması ya da akışkan veya gaza istenilen kalite özelliklerinin kazandırılması amacıyla yürütülen mekanik, kimyasal ve biyolojik işlemler olarak tanımlanabilir. Genellikle filtreleme sistemlerinde üç farklı filtreleme yöntemi kullanılır. Bunlar: mekanik, kimyasal ve biyolojiktir. İyi filtreleme sistemleri, genellikle bu üç yöntemin birlikte kullanılmasıyla geliştirilir [Lee ve ark. 2009]. Yöntemlerin her biri birçok avantaja ve faydaya sahip olsa da birlikte kullanıldığında daha verimli bir filtreleme sağlayabilir.

1. Mekanik filtreleme yöntemi

Bir ortamdaki su içerisinde asılı veya yüzen birikintileri ortadan kaldırma işlemi olarak tarif edilebilir. Kum tutucu olarak bilinen ızgaralar buna en iyi örnektir. Ayrıca yeni nesil bir teknoloji olan membran filtreler de mekanik filtreleme yöntemine dahil edilebilir. Membrane filtreleme teknolojisinde suyun çok küçük gözenekli malzemelerden yüksek basınçla akışa zorlanması ilkesi uygulanır.

2. Kimyasal filtreleme yöntemi

Mekanik filtreleme sonucu suda istenmeyen maddeler bulunduğunda ya da suda eksik mineraller olduğunda (saf suda olduğu gibi) başvurulan bir yöntemdir. Dezenfekte işleminde klor kullanılmasıyla oluşan fazla klor içeriği suda istenilen bir özellik değildir. Klor miktarının azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması için su akış yolunda karbon kullanılır. Yüksek tutunma özelliği sayesinde karbon, klorun kendisine yapışmasını sağlar. Ayrıca sudaki kötü kokuları giderir ve suyun tadını iyileştirir. Bu şekilde yapılan filtreleme işlemleri, kimyasal filtreleme yöntemi kapsamında değerlendirilir.

3. Biyolojik filtreleme yöntemi

İnsan vücudunda zararlı bakterilerin yanı sıra faydalı bakterilerin de olduğu bilinen bir gerçektir. Faydalı bakteriler, sadece insan vücudunda yaşamayıp çeşitli dış ortamlarda da yaşarlar. Dış ortamlardaki faydalı bakteriler, amonyak ve nitriti yerler ya da daha az zararlı nitrata dönüştürürler. Bu bakteri türleri serbest halde dolaşmayıp koloniler halinde yaşamaktadır. Faydalı bakterilerin bu avantajından faydalanarak biyolojik su filtreleme elemanları geliştirilmiştir. Biyolojik filtreleme işleminde bir yüzey tabakası (çakıl, biyoköpük gibi) üzerinde kolonileşmiş bakteriler kullanılır. Bu filtreler amonyak ve nitrit gibi istenmeyen maddelerin giderilmesinde oldukça etkilidir.

Filtreleme işlemlerinde bu üç yöntem genellikle birlikte kullanılmaktadır. Filtreleme işlemi tasarlanırken ana eleman filtredir. Kullanım amacına göre filtre sayısı, boyutu ve tipi değişmektedir. Örneğin gölden alınan suyun içme suyu olarak filtrelenmesi için en az iki filtreden geçirilmesi gerekmektedir. Genellikle kaba parçacıklar ince filtreleri tıkayacağı için su önce kaba filtreden geçirilir, sonra istenilen su kalitesini verecek ince filtre sistemi kullanılır. Bazı işlemlerde ise aşama sayısı ikiden fazla olabilmektedir. Deniz suyundan içme suyu elde etmede bu durum daha belirgindir. Su filtreleme işleminde kullanılan başlıca filtreleme sistemleri 2. Bölümde daha detaylı tanıtılacaktır.

Dezenfeksiyon

Dezenfeksiyon işleminde sudaki zararlı bakteriler ve mikro organizmalar çeşitli yöntemler kullanılarak ortadan kaldırılır veya pasif hale getirilir. Örneğin; su içindeki zararlı maddeler klor, ozon, iyodin ve kloramin gibi güçlü oksidanlar kullanarak etkisiz hale getirilebilir. Diğer yandan, dezenfeksiyon amacıyla mor ötesi ışınlar da kullanılmaktadır. En yaygın olan yöntem ise klorlamadır.

Yukarıda açıklanan arıtma adımları, genellikle birkaç adımın birleşmesiyle kullanılmaktadır. Özellikle ileri su arıtma teknolojileri bu adımların birleşimlerinden oluşmaktadır [Lee ve ark. 2009]. Örneğin ilk olarak topaklaştırma ve çökeltme, arkasından filtreleme kullanılarak endüstrilerde atık suyun yeniden kullanımı sağlanabilir. Eğer istenilen su insan sağlığı gibi önemli bir kalitede olması gerekiyorsa filtreleme sonrası veya öncesi dezenfeksiyon işlemi uygulanmaktadır. Bu çalışmada su arıtma işlemlerinin önemli bir adımı olan filtrelemeye daha çok yer verilmiştir. Sonraki bölümde mevcut kullanılan filtreleme sistemleri anlatılacaktır.

8.3. Filtreleme Sistemleri

Su filtreleme sistemleri çeşitli açılardan gruplandırılabilir. Gelişme durumuna göre gruplandırıldığında dört grupta incelenebilir. Bunlar: geleneksel, membran, kartuş ve hibrit filtreleme sistemleri olarak belirlenebilir. Bu sistemler aşağıda özetlenecektir.

8.3.1. Geleneksel filtreleme sistemleri

Geçmişten günümüze birçok filtre sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemlerden en çok kullanılan başlıca geleneksel filtre sistemleri; ızgara, kum-çakıl ortamlı ve aktif-karbon filtre sistemleridir.

Izgara filtre sistemleri

Filtrelemede kullanılan en kaba filtre çeşididir. Belirli boyutta gözenekleri olan bir yüzeyden suyun geçirilmesi ve bu esnada kaba parçacıkların yüzeyde kalması ilkesiyle çalışır. Elek ilkesi ile çalışan her türlü mekanik araç (süzgeç, çeşitli mekanik tutucular vb.), ızgara olarak nitelendirilebilir. En çok kullanılan ızgara türü tutuculardır. Tutucular kir, talaş, tortu gibi birikintileri yakalayarak boru hattı sistemlerinin korunmasına yardımcı olur. Bunlar basit kaba filtreler olarak ta adlandırılabilir. Filtre ortamı (elemanı) olarak delikli plaka veya tel süzgeç kullanılır. Tutucular şu iki kategoride incelenir: geçici tutucular ve kalıcı tutucular. Geçici tutucular, kısa zamanlı uygulamalarda kullanılır. Örneğin; yeni bir sistemin çalıştırılması aşamasında alıştırma işlemleri veya kapatma ve bakım-onarım sonrası boru hattı sistemlerinin yeniden başlatılmasında ön elek olarak kullanılır. Sonra sistemden çıkarılır, temizlenir ve sonraki kullanımlar için saklanır. Şekil 8.3'te geçici tutuculara örnek olarak çeşitli sepet filtreler gösterilmiştir.

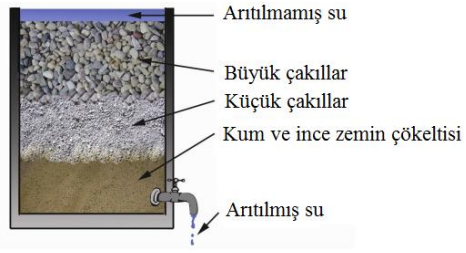
Şekil 8.3. Çeşitli geçici tutucular [Sutherland, 2008]

Kalıcı tutucular ise genellikle silindirik tutucu elemanlı, Y-biçimli bir gövdeye sahiptir. Genelde düşük yoğunluklu kirli ortamlarda kullanılır. Bu tür tutucular, devamlı kullanımdan dolayı zamanla kirlerin tortu vs. oluşturmasıyla temizlenmeye ihtiyaç duyabilmektedir. Böyle bir durumda ise gerektiğinde açılabilir kir boşaltma deliği gövde üzerinde tasarlanır. Kalıcı tutuculara bir örnek olarak Şekil 8.4'teki Y-biçimli ve boşaltma delikli tutucu örnek olarak gösterilebilir.

Şekil 8.4. Y-biçimli ve boşaltma delikli kalıcı tutucu [Sutherland, 2008]

Kum-çakıl ortamlı filtre sistemleri

Tabii sistemler incelendiğinde yeryüzüne düşen yağmur, akan yüzey suları gibi su kaynakları toprak yüzeyinden emilip daha alt tabakalara inerek belirli yerlerde birikirler. Bu suların birçoğu doğrudan ya da dolaylı kullanılma imkânına sahiptir. Doğrudan kullanıma özellikle kaynak suları, dolaylı kullanıma ise sulama amaçlı sular örnek verilebilir. Doğanın bu yapısı incelendiğinde yeryüzü tabakasını oluşturan toprak, çakıl, kum gibi birçok yer malzemesi filtre görevini üstlenmiştir. Buradan yola çıkarak kum ve çakıldan oluşan birçok filtre sistemi geliştirilmiştir. Şekil 8.5'te kum-çakıl birleşiminden oluşan bir filtre sistemi verilmiştir.



Şekil 8.5. Kum-çakıl oluşumu geleneksel bir filtre sistemi [Mcallister, 2005]

Bu tür filtreleme sistemi çok miktardaki suyun filtrelenmesinde daha verimlidir. Tak-kullan bir yapıda tasarlanmaları güç olup büyük hacim kaplarlar. Dolayısıyla ev gibi yerlerde kullanılması pratik ve verimli olmayabilir. Genelde kentsel arıtma tesislerinde ön arıtma amacıyla kullanılmaktadır. Ancak kum-çakıl malzemelerinin yüzey alanı ve derinliği arttırıldığında filtrelenen su kaliteside artmaktadır. Bu filtre sisteminde istenmeyen mikro organizmalar (bakteri vb.) ve kimyasal maddeler (arsenik vb. gibi sert metaller) ortadan kaldırılabilir. Bu sürecin daha verimli hale getirilmesi amacıyla kum-çakıl tabakasına ince alüminyum ve demir oksit parçacıkları yayılır, böylece sert metaller daha etkin yakalanabilir.

Aktif-karbon filtre sistemleri

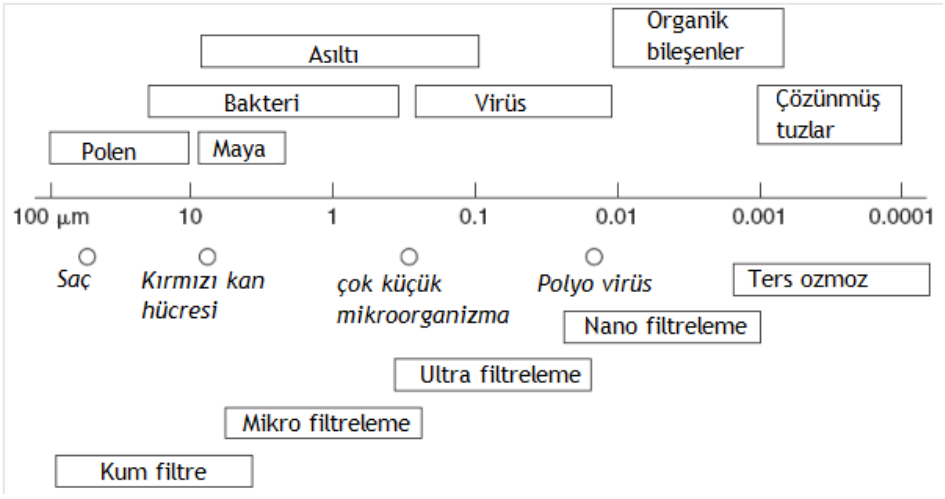
Aktif karbon filtre maddesi, genellikle su arıtma işleminde; kloru, kötü tat ve kokuyu, kirleticileri (tarım ilacı, çözücü madde, deterjan vb.), zehirli maddeleri (arsenik vb.) ve bulanıklığı gidermede kullanılır. Karbonun aktifleştirilmesi, odun kömürü veya Hindistan cevizi kabuğu, bitkiler gibi karbonca zengin maddeler oksijen ile tepkimeye girdiğinde oluşmaktadır. Tepkime sonucunda karbon atomları arasındaki gözenekler kazanır. Böylece karbon çoğu organik ve bazı inorganik bileşenlere karşı çekici özellik gösterir. Örneğin klor, organik arsenik bu karbon boşluklarına yapışır. Aktif karbon filtreler, genellikle ikinci arıtma işlemlerinde kullanılır.

8.3.2. Membran filtre sistemleri

Yirminci yüzyılda en çok kullanılan su arıtma teknolojisi kumlu filtrelemedir. Ancak 1980'lerin sonlarına doğru, su/atık su ve tuzlu su arıtmada yeni teknolojiler kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde halen güncelliğini sürdüren ve en gelişmiş teknoloji olarak kabul edilen filtreleme teknolojisi membran filtrelemedir. Bu teknoloji, suyu yarı geçirgen bir zardan (membran) hidrolik veya hava basıncıyla geçmeye zorlama prensibine dayanır. Uygulanan basınç sonucunda membran gözeneklerinden geçemeyen maddeler istenmeyen maddelerdir. Bu istenmeyen maddeler zamanla membran üzerinde birikerek basınç artışı oluşturacaktır. Zamanla

artan basınç ile membrandan çıkan suyun basıncı arasında belirli bir basınç farkı oluşacaktır. Basınç farkı arttıkça su akış oranı azalacaktır. Su akış oranının azalmasını engellemek için membran üzerinde biriken kirlerin çeşitli yöntemlerle periyodik ya da sürekli temizlenmesi gerekmektedir.

Membran filtrelerin en önemli dezavantajları; çabuk kirlenme, zor bakım ve temizleme gibi söylenebilir. Önceleri kurulum ve üretim maliyeti yüksek olan membran teknolojileri son zamanlarda yapılan yeni geliştirmeler ile daha az enerji harcayan ve düşük su arıtma maliyeti sunan sistemler olmuştur. Ancak kirlenme sorunu halen membran sistemlerin performansını düşüren önemli bir sorundur.
Membran filtre sistemleri; mikro filtreleme, ultra filtreleme, nano filtreleme ve ters ozmos sistemleri olarak dört sınıfta incelenebilir. Bunlardan mikro ve ultra filtreleme düşük basınçlı membran sistemleridir. Çökmüş ya da yüzeydeki asılı parçacıkları süzmede etkin olmalarına rağmen çözünmüş maddeleri (organik madde, virüs vb.) kaldırmada etkin olamayabilirler [Walsh, 2006]. Nano filtreleme ve ters ozmos ise çözünmüş madde, virüs, bakteri, mineral gibi küçük boyutlu parçacıkları kaldırırlar. Çoğunlukla filtrelemenin son aşaması olarak tasarlanıp genellikle tuzlu sudan içme suyu elde etmede çok sık kullanılırlar. Şekil 8.6'da su içinde bulunan kirler ve boyutları, ayrıca membran ve geleneksel (kum filtre) sistemlerinin hangi filtreleme aralığında kullanıldığı verilmiştir.



Şekil 8.6. Sudaki kirler ve kullanılacak filtreleme sistemleri [Sutherland, 2008]

8.3.3. Kartuş filtre sistemleri

Kartuş filtreler; silindirik gövdeye takılan, standart uzunluk ve çapta tasarlanan, ömrünü tamamladığında değiştirilebilen bir filtre türüdür. Genellikle, ağırlık olarak kir seviyesi % 0,01'den daha az olan akışkanların temizlenmesinde kullanılır [Sutherland, 2008]. Hemen hemen her tür filtre malzemesinden (polimer, keçe, örme bez, örülmemiş plastik vb.) kartuş imal edilebilmektedir. Standart olarak üretilen; sepet ızgaralar, çanta filtreler ve bazı membran modülleri kartuş filtre olarak düşünülebilir.

8.3.4. Hibrit filtreleme sistemleri (HFS)

Hibrit filtreleme sistemlerinde geleneksel, membran ve kartuş filtreleme teknolojileri birlikte kullanılır. Bu sistemler kolay kullanım, düşük enerji tüketimi, yüksek verim, az kurulum ve işletme maliyeti sağlarlar. Membran filtrelemeden önce kaba filtreleme sistemlerinin kullanılması buna verilebilecek en basit örnek olabilir. Özellikle büyük çaplı su arıtma projelerinde HFS yaygın şekilde kullanılmakta ve bunları geliştirme çalışmaları halen sürmektedir.

8.4. Kaynak Araştırması

Su arıtma işlemleri HFS'nin gelişmesiyle daha verimli hale gelmiştir. Ancak gelişmiş bir HFS'de halen membran kirliliği, kurulum ve çalışma maliyetleri gibi çözülmesi gereken önemli sorunlar bulunmaktadır. Son zamanlarda bu tür sorunları çözmek amacıyla ön arıtma teknolojileri üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Aşağıda konu üzerine yapılan kaynak araştırması verilmiştir.

Ön arıtma işlemleri HFS su çıktısında istenilen kalite standartlarına ulaşmada oldukça etkilidir. Örneğin yaygın bir teknoloji olan ters ozmoz işleminden önce suyun içindeki asılı ve çökmüş parçacık ve biyolojik maddelerin kaldırılmış olması hidrolik performansa, membran kirliliğine ve maliyetlere olumlu yansıyacaktır. Ön arıtma amacıyla çoğunlukla geleneksel sistemler (kum filtre, çökeltme vb.)

kullanılmıştır. Ancak bu sistemlerin istenilen su kalite özelliklerini sağlayamaması yatırımcı ve araştırmacıları yeni ön arıtma sistemleri geliştirmeye sevk etmiştir. Bu doğrultuda yapılan araştırmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Lorein ve ark. [2007], deneysel çalışmaları sonucunda; deniz suyundan tatlı su amaçlı ters ozmoz membranındaki kirlilik sorununu çözmede geleneksel sistemlerin yetersiz kaldığını tespit etmiş ve bunun yerine tek aşamalı fiziksel filtreleme olan ultra filtreleme sistemini kullanmıştır. Böylece ters ozmoz membranındaki kirlilik sorunu büyük ölçüde çözülmüştür.

Huang ve ark. [2011], düşük kir özellikli ters ozmoz membranına çeşitli ön arıtma işlemleri (ultra filtreleme, çökeltme gibi) uygulamışlar ve bunlardan ultra filtreleme işleminin organik madde kaldırma ve membran kirliliğini azaltmada diğerlerine göre daha etkili olduğunu saptamıştır.

Qi ve ark. [2011] ise tekstil atık sularını arıtmada ters ozmoz işlemi öncesi ön ozonlamalı BAF (Biyolojik Havalandırmalı Filtre) kullanmışlardır. Ön ozonlamalı BAF ile renk, COD (Kimyasal Oksijen İsteği), patojen konularında önemli ilerlemeler sağlanmıştır.

Öte yandan Ćurko ve ark. [2011], içme suyuna belirli miktarda arsenik karıştırarak çökeltme ön arıtma işlemiyle mikro filtreleme öncesi arsenik kaldırabilme ve kek direncini azaltma amaçlı bir deney çalışması yürütmüştür. Sonuç olarak arsenik önemli ölçüde kaldırılmış ve filtreleme kek tabakası yerine tortu birikimi gözlemlenmiştir.

Kim ve ark. [2011], yağlı kum sürecinden çıkan atık suyu yeniden kullanabilmek için içindeki toksinleri ortadan kaldırma amaçlı deneysel çalışma yapmışlardır. Burada ana filtreleme sistemi olarak nano filtreleme ve terz ozmoz seçilmiştir. Ön arıtma olarak; membran kirliliğini önlemek, çalışma maliyetini düşürmek ve filtrelenmiş su debisini artırmada çökeltme işlemi uygulanmıştır.

Sadece geleneksel yöntemlerle de çeşitli hibrit sistemler geliştirilebilmektedir. Örnek olarak Reungoat ve ark. [2010], ilaç içeren atık suyun üçüncül arıtılmasında birçok geleneksel temel arıtma yöntemi kullanmıştır. Bunlar; ön ozonlama, çökeltme, havalandırma, filtreleme, aktif karbon filtre ve son ozonlama olarak sıralanabilir. Ozonlama ile mikro kirleticilerin (tarım ilaçları gibi) kaldırılması ve bunların biyolojik gelişim faaliyetlerinin azaltılması amaçlanmıştır.

Burada özetlenen çalışmalar ve devam eden benzer birçok araştırma, ön arıtma teknolojilerine olan eğilimin günden güne arttığını ortaya koymaktadır. Bu çalışmaların genel eğilimi; ters ozmoz, nano filtreleme gibi hassas su arıtma adımlarında meydana gelebilecek birtakım olumsuz etkilerin önceden giderilmesidir.

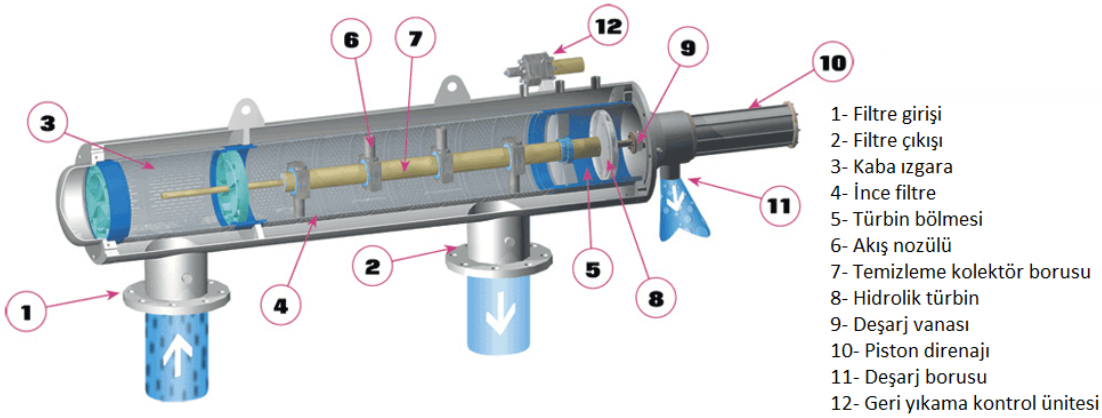
Çalışma kapsamında incelenen çalışmalar Çizelge 8.2'de karşılaştırmalı tarzda verilmiştir. Çizelge incelendiğinde ortaya çıkan ön arıtma teknolojileri çoğunlukla kimyasal ve mekanik yöntemler içermektedir. Bu yöntemler önemli katkılar sağlamasının yanında geliştirilmesi gereken konuları da içermektedirler. Bunlardan bazıları: kimyasal çözümlerde kimyasal madde temini, maliyeti, sürekliliği; öte yandan hidromekanik çözümlerde ise fazla enerji ihtiyacı, karmaşık tasarım, membran malzeme maliyeti olarak belirlenebilir. Bu tür sorunlara çözüm bulmak için makul sistemlerden biri mekanik filtre sistemleridir.

Çizelge 8.2. Son zamanlarda yapılan ön arıtma çalışmalarından bazıları

Referanslar	Su kaynağı	Ön filtreleme/arıtma			Ana filtreleme
		Amacı	Türü	Yöntemi	
[Qi vd. 2011]	Tekstil atık suyu	Renk, COD, patojen, membran kirliliği	Ön ozonlamalı BAF filtre	Biyolojik + kimyasal	Ters ozmoz
[Lorein vd. 2007]	Ham deniz suyu	Membran kirliliği ve ömrü	Ultra filtreleme	Mekanik	Ters ozmoz
[Curko vd. 2011]	Arsenikli musluk suyu	Arsenik, kek direnci	Ferrik çökeltme	Kimyasal	Mikro filtreleme
[Huang vd. 2011]	Doğal su	Organik madde, membran kirliliği	Ultra filtreleme, çökeltme	Mekanik/ kimyasal	Ters ozmoz
[Reungoat vd. 2010]	İlaçlı atık su	Organik mikro kirletici, biyolojik tortu	Ön ozonlama	Mekanik/ kimyasal	Aktif karbon filtre ve son ozonlama
[Kim vd. 2011]	Yağlı kum etkili atık su	Membran kirliliği	Çökeltme	Kimyasal	Nano filtreleme ve ters ozmoz

Yukarıda, ön arıtma konusunda yapılan akademik araştırma çalışmaları özetlenmiş olup önemli katkıları ve eksiklikleri belirlenmiştir. Bu eksikliklerin giderilmesiyle genel olarak şu avantajlar elde edilebilir: daha az enerji kullanımı, düşük maliyet, basit tasarım, yüksek akış oranı ve mekanik çözüm vb. gibi. Öte yandan son yıllarda geliştirilen filtre sistemleri, genellikle mekanik ağırlıklı tasarımlardan oluşmaktadır. Filtre tasarımının salt mekanik olması basitlik, düşük maliyet gibi pek çok avantaj sağlar. Ancak, özellikle kontrol konusunda mekatronik çözümlere ihtiyaç duyulabilmektedir.

Su filtreleme konusunda ülkemizde yürütülen akademik çalışmalar yanında sanayi projeleri de günden güne artmaktadır. Gelecekte su sıkıntısının artacak olması bu tür çabaları gerekli kılmaktadır. Bu konuda birçok firma tarafından basit, ekonomik ve verimli filtre tasarımları yapılmış ve üretime başlanmıştır. Bu çalışmada örnek olması amacıyla dünya çapında önde gelen üç farklı firmanın ürünleri incelenmiştir. Bu önemli firmalar bu alanda öncü konumda olan Türkiye, Amerika ve İsrail'de bulunmaktadır. Bir Türkiye firması olan Filternox'un geliştirdiği mekanik filtre modeli Şekil 8.7'de ana hatlarıyla gösterilmiştir.

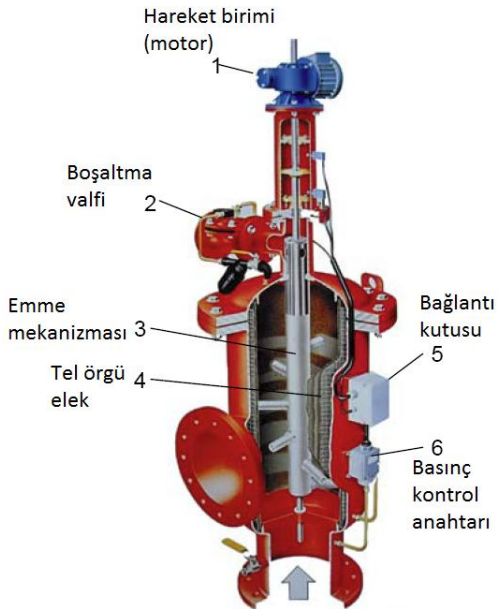


Şekil 8.7. Filternox firmasına ait bir mekanik filtre modeli [Filternox, 2012]

Bu modelde geri yıkama kontrolü elektronik aksamla, kolektör hareketi ise hidrolik pistonla sağlanmaktadır. Çalışma basıncı aralığı 2-10 bar, maksimum çalışma sıcaklığı 60°C, temizleme süresi 20-30 sn, su tüketimi 100-200 l/geri boşaltım, elek malzemesi AISI 316L, gövde malzemesi AISI 304L, sistem boş ağırlığı 70-185 kg,

debi 15-600 m^3/saat ve filtreleme derecesi 10-3000 μm aralığında verilmiştir. Sistem incelendiğinde; çalışma basıncı ve sıcaklığı, kesintisiz filtreleme, temizleme süresi, malzeme seçimi ve filtreleme derecesi yeterli ve olumlu özelliklerdir. Buna karşın filtre temizliği için gerekli su tüketimi, montaj/demontaj için en az 70 kg ağırlık, elektronik kontrol ve hidrolik sistem için enerji ihtiyacı bu ürünün iyileştirilmesi gereken özellikleridir.

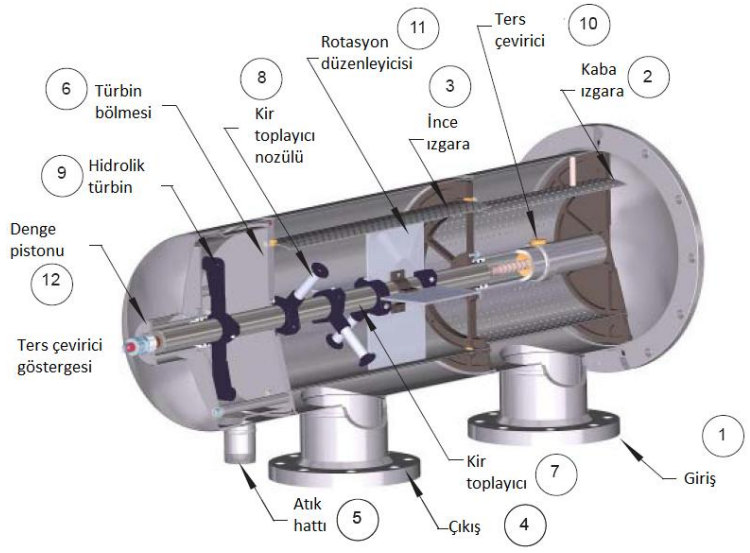
İçme suyunun önemli kısmını denizden sağlayan ve ileride su sıkıntısını daha çok hissedecek olan ülkelerden biri de İsrail'dir. Bu neden dolayı İsrail su filtreleme konusuna çok önem vermektedir. AMIAD, bu alanda önemli tecrübe birikimine sahip bir İsrail firmasıdır. Bünyesinde halen su filtreleme konusunda önemli AR-GE çalışmaları yürütmektedir. Şekil 8.8'de bu firmanın geliştirdiği son mekanik filtre ürünlerinden bir model, temel elemanlarıyla gösterilmiştir. Bu modele ait temel özellikler: çalışma basıncı aralığı 1-16 bar, maksimum çalışma sıcaklığı 60°C, temizleme süresi 15-40 sn, su tüketimi 200-420 l/geri boşaltım, elek malzemesi St. 316, gövde malzemesi polyester kaplamalı karbon çeliği 37-2, sistem boş ağırlığı 213-6200 kg, debi 50-700 m^3/saat ve filtreleme derecesi 200-3500 μm aralığında verilmiştir.



Şekil 8.8. AMIAD firmasına ait bir mekanik filtre modeli [AMIAD, 2012]

AMIAD'ın geliştirdiği mekanik filtre modelinde; çalışma basıncı ve sıcaklığı, kesintisiz filtreleme, temizleme süresi, malzeme seçimi yeterli ve olumlu özelliklerdir. Buna karşın filtre temizliği için gerekli su tüketimi; montaj/demontaj için en az 213 kg ağırlık; elektronik kontrol ve elektrik motoru için enerji ihtiyacı bu ürünün iyileştirilmesi gereken özellikleridir.

Son olarak Amerika'da bulunan VAF firmasının geliştirip ürettiği tam otomatik bir mekanik filtre modeli incelenecektir. Şekil 8.9'da ayrıntıları gösterilen bu model: çalışma basıncı aralığı 2-10 bar, maksimum çalışma sıcaklığı 80°C, temizleme süresi 12-15 sn, su tüketimi 30-167 l/geri boşaltım, elek malzemesi sinterlenmiş 316L, gövde malzemesi 316 SS, sistem boş ağırlığı ~100-1100 kg, debi 7-1364 m^3/saat ve filtreleme derecesi 10-1500 μm aralığında verilmiştir. Sistem incelendiğinde; çalışma basıncı ve sıcaklığı, temizleme süresi, kesintisiz filtreleme, malzeme seçimi ve filtreleme derecesi yeterli ve olumlu özelliklerdir. Buna karşın filtre temizliği için gerekli su tüketimi; montaj/demontaj için en az 100 kg ağırlık; elektronik kontrol için enerji ihtiyacı bu ürünün iyileştirilmesi gereken özellikleridir. Emsallerine göre daha gelişmiş olan bu üründe patentli çift yönlü (sağ ve sol helis) vida mekanizmasıyla sistem basitleştirilmiş ve tam mekanik bir tasarıma yaklaşmıştır. Tasarımda salt mekanik çözümler; basitlik, ekonomiklik, sağlamlık gibi önemli özellikler getirir.



Şekil 8.9. VAF firmasına ait bir mekanik filtre modeli [VAF, 2012]

Yapılan bu kaynak araştırması ile ön arıtma filtreleri konusunda akademik ve ticari çalışmaları araştırmak, üstün ve eksik yanlarını tespit etmek amaçlanmıştır. Bu araştırma sonucunda mekanik filtre sistemlerinin daha avantajlı olduğu ve mevcut olanların ise daha iyi performans için geliştirilmesi gerektiği belirlenmiştir.

8.5. Tasarım Şartnamesi

Mekanik filtre sistemlerinin seçiminde belirli teknik özellikler baz alınmaktadır. Bunlar: Çalışma basıncı, sıcaklığı, filtreleme derecesi, filtreleme alanı gibi sıralanabilir. Bunlara ek olarak fiziksel ve kimyasal parametreler de olması gereken teknik özellikler arasında yer alır. AMTA [2012], RO / NF besleme suyu için kabul edilebilir fiziksel ve kimyasal su değerleri belirlemiştir. Çizelge 8.3'te bu değerler açıkça görülmektedir. Tüm bu teknik özellik ve ihtiyaçlar bir tasarım şartnamesi ile ifade edilebilir. Tam otomatik, emniyetli, performanslı, az enerji kullanan ve düşük maliyetli bir mekanik filtre tasarımı için Çizelge 8.4'te detaylı bir tasarım şartnamesi verilmiştir.

Çizelge 8.3. RO / NF besleme suyu için kılavuz değerleri [AMTA, 2012]

Parametre	Tavsiye edilen maksimum değer
Bulanıklık	0.5 NTU
TOC	2 mg/L
Demir	10.1 mg/L
Manganez	0.05 mg/L
Petrol ve Yağ	0.1 mg/L
SDI 15	3

Tasarım şartnamesindeki önem derecesi her ihtiyacın ağırlığını belirtmektedir. Tez kapsamında ihtiyaçların önem dereceleri, kaynak araştırması ve teknik bilgilere dayalı verilmiştir. Örneğin G1 kodlu "modüler tasarım" ihtiyacının önem derecesi 0,9'dur. Bunun sebebi, filtre tasarımlarının çeşitli parametrelere göre yapılmasından kaynaklanır. Tasarımlar; debi, filtreleme derecesi gibi önemli faktörlere göre yeniden boyutlandırılır veya geliştirilir. Böyle durumlarda modüler tasarım faaliyeti gerekli olacaktır. Diğer ihtiyaçlara da benzer şekilde uygun önem dereceleri atanmıştır.

Çizelge 8.4. Tam otomatik bir su filtresine ait tasarım şartnamesi

		TASARIM ŞARTNAMESİ **Tam otomatik mekanik su filtresi**	20.02.2012 Sayfa:1
DEĞİŞİKLİK	Önem 0..1	İHTİYAÇLAR (G: Gereksinimler)	SORUMLU
		Fiziksel ve kimyasal özellikler:	
	0,9	G1. Modüler tasarım (sulama, endüstri, vb. amaçlar)	
	0,6	G2. Kullanım ve kontrole uygun boyutlar (ergonomik)	
	1	G3. Minimum ağırlık (40-100 kg)	
	1	G4. Su berrak renkte olmalı (NTU_{min} = 0.5-1)	
	1	G5. Toplam organik karbon (TOC) = 2 mg/L ve SDI = 3	
	0,8	G6. Filtreleme alanı = 1000-2000 cm^2	
		Kinematik:	
	1	G7. Filtreleme derecesi: 10-1500 mμ	
	0,8	G8. Filtreleme debisi: 10-100 m^3/h	
	1	G9. Kesintisiz filtreleme	
	1	G10. Temizleme süresi: 10-15 sn	
		Enerji:	
	1	G11. Minimum/sıfır enerji ihtiyacı	
	1	G12. Minimum enerji kayıpları	
		Malzeme:	
	1	G13. Paslanmaz malzeme (316 SS kalitesinde olabilir)	
	0,8	G14. Hafif ve dayanıklı malzeme	
		Sinyal:	
	0,8	G15. Basınç kontrolü	
		Emniyet ve Ergonomi:	
	1	G16. Ani durumlarda su akışı devam edebilmeli	
	0,8	G17. Sistem parçaları uzun ömürlü olmalı	
		Üretim ve Kontrol:	
	0,8	G18. Parçaların imalatı kolay ve ucuz olmalı	
	0,8	G19. Parçalar, geri dönüşümlü malzemelerden imal edilmeli	
		Montaj ve Nakil:	
	1	G20. Parça sayısı az olmalı	
	0,8	G21. Montaj, demontaj kolaylığı	
		İşleyiş ve Bakım:	
	1	G22. Çalışma basıncı: 2-15 bar	
	0,8	G23. Maksimum çalışma sıcaklığı: 60°C	
	1	G24. Su tüketimi: 5-50 l/geri boşaltım	
	1	G25. Otomatik kendi kendine temizleme	
	1	G26. Bakım kolaylığı	
		Maliyet:	
	0,8	G27. İmalat maliyeti: maksimum 9000 TL	
	0,8	G28. Kurulum maliyeti: maksimum 750 TL	
	0,8	G29. Çalışma ve bakım maliyeti: maksimum 500 TL/yıl	

8.6. Müşteri İhtiyaçlarını QFD ile Mühendislik Parametrelerine Aktarma

Kalite evi, genellikle müşteri ihtiyaçlarının mühendislik tasarım parametrelerine dönüştürülmesinde kullanılır. Bu işlem her müşteri ihtiyacı ve önem derecesinin hangi tasarım parametresi (TP) ile ilişkili olduğunu belirlemekle başlar. Sonra her TP için ihtiyaçları karşılama oranı (yüzdesi) sayısal değerlerle hesaplanır. Böylece TP'nin yüzde önem derecesi belirlenmiş olur.

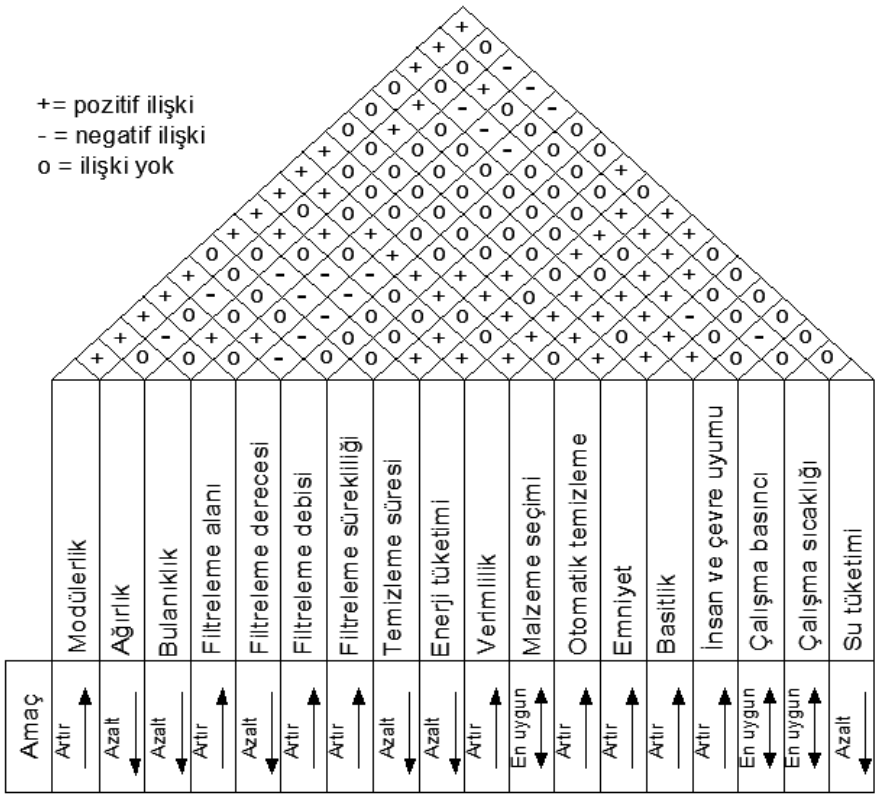
QFD kullanımına örnek olarak mekanik filtreye ait tasarım şartnamesindeki tüm ihtiyaçlara kalite evi uygulanmıştır. Toplam 18 TP ile ilişkilendirilmiştir. Parametrelerin yüzde önem dereceleri belirlenmiştir. Bu işlemler Çizelge 8.5'deki kalite evinde gösterilmiştir. Önem derecelerini belirlemede amaç değerlendirme aşamasında kullanılan amaçlar ağacı yerine kullanarak kalite yayılımını sağlamaktır.

8.7. Tasarım Parametre Çelişkilerini Tespit Etme

TP arasındaki çelişkiler kalite evinin çatısında yer alan ilişki matrisi ile tespit edilebilir. Çelişkilerin tespit edilmesiyle yaratıcı çözüm/problem tanımları kolaylıkla yapılabilir. Örnek tasarımda TP arasındaki çelişkileri gösteren ilişki matrisi Şekil 8.10'da gösterilmiştir. Matristeki "+" ile pozitif ilişki, "-" ile negatif ilişki (çelişki) ve "o" ile ilişki yok ifadeleri belirtilmektedir.

Çizelge 8.5. Mekanik filtre müşteri ihtiyaçlarına kalite evi uygulaması

	Önem derecesi (0..1)	Fn= A, B, C, D A=9, B=5, C=3, D=1 $W_{TP}(n)=\prod_{n=1}^{n} W_{Gn}.F_n$ $\%M_n=\frac{W_{TP}(n)}{\sum_{n=1}^{n} W_{TP}(n)}.100$	Tasarım parametresi	Modülerlik	Ağırlık	Bulanıklık	Filtreleme alanı	Filtreleme derecesi	Filtreleme debisi	Filtreleme sürekliliği	Temizleme süresi	Enerji tüketimi	Verimlilik	Malzeme seçimi	Otomatik temizleme	Emniyet	Basitlik	İnsan ve çevre uyumu	Çalışma basıncı	Çalışma sıcaklığı	Su tüketimi
No	WGn	Müşteri ihtiyaçları		TP1	TP2	TP3	TP4	TP5	TP6	TP7	TP8	TP9	TP10	TP11	TP12	TP13	TP14	TP15	TP16	TP17	TP18
G1	0,9	Çok amaçlılık		A			C	C	C					C					C	C	
G2	0,6	Ergonomik			A				C						B		B	A			
G3	1	Minimum ağırlık		A	A							B		B	D		A	A			D
G4	1	Berraklık				A		A					B	C	A				B	C	
G5	1	TOC ve SDI				A		A			B	A	A	B	A				B	C	
G6	0,8	Filtreleme alanı		C			A		A	A	A		A	C			D				
G7	1	Filtreleme derecesi		C		A		A			B	A	A	A	B		D		B	B	C
G8	0,8	Filtreleme debisi		A			A	A	A		B	C	B	D	B				C		C
G9	1	Kesintisiz filtreleme								A	A	C	A	D	A	A			D	D	B
G10	1	Temizleme süresi		C	B						A			C	A			D	B	C	B
G11	1	Enerji tüketimi		B	A	A					B	A		C	B		C	C		B	B
G12	1	Enerji kaybı		C	B						C			B	A	B	A				B
G13	1	Paslanmaz malzeme												A				B			
G14	0,8	Hafif ve dayanıklı malzeme												A				D			
G15	0,8	Basınç kontrolü		B											A	B					
G16	1	Kesintisiz su akışı		B	C					A	A					A		C			B
G17	0,8	Uzun ömür		C	B						B			B	B	A					
G18	0,8	Kolay imalat			A																
G19	0,8	Geri dönüşüm												A			B	A			
G20	1	Mekanik tasarım			D							A				C	A	B			
G21	0,8	Kolay montaj/demontaj		B	A							C		D		C	A	A			
G22	1	Çalışma basıncı		B							C			C					A		
G23	0,8	Çalışma sıcaklığı												C				D		A	
G24	1	Su tüketimi			D				C		B		C		B			A			A
G25	1	Otomatik temizleme									C				A		B	B	C		
G26	1	Bakım kolaylığı		C	A									D		B	A	B			C
G27	0,8	İmalat maliyeti		C	A									A			A				C
G28	0,8	Kurulum maliyeti		A	A											B	A	B			C
G29	0,8	Çalışma/bakım maliyeti		B	A						A	A		B		A	A	C			B
Mutlak önem				69,6	87,4	36	17,1	36,9	21,9	25,2	78,4	56	46,2	85,7	88,2	55,8	81,6	72,8	38,1	29,9	52,2
% Bağıl önem				7,11	8,93	3,68	1,75	3,77	2,24	2,57	8,01	5,72	4,72	8,75	9,01	5,7	8,34	7,44	3,89	3,05	5,33



Şekil 8.10. Tasarım parametreleri arasındaki ilişkiler

8.8. TP Çelişkilerine TRIZ ile Problem Tanımları Bulma

İlişki matrisindeki çelişkilerin çözümünde TRIZ'in çelişki matrisi ve 40 prensibi kullanılabilir. Çözüm için önce çelişkiler TRIZ mühendislik parametrelerine çevrilir. Sonra bu parametreler çelişki matrisinde kesiştirilir ve tavsiye edilen prensipler ayrı ayrı değerlendirilip probleme uygun olanlar çözüm olarak kabul edilir. Bu yol takip edilerek örnek tasarımın TP ilişki matrisindeki çelişkilere karşılık gelen TRIZ çelişkileri, TRIZ çözümleri ve sonuç olarak yaratıcı problem tanımları elde edilmiştir. Bunlardan TP çelişkilerine karşılık gelen TRIZ çelişkileri, uygun TRIZ çözümleri Çizelge 8.6'da verilmiştir. Bu şekilde elde edilen problem tanımları ise Çizelge 8.7'de verilmiştir.

Örnek olarak, TP çelişkilerinden: Ağırlık-filtreleme alanı çelişkisi, buna karşılık gelen TRIZ çelişkisi: Sabit nesnenin ağırlığı-sabit nesnenin alanı (2. ve 6. TRIZ parametreleri). Burada; sabit nesnenin ağırlığı ile sistem ağırlığını veya filtre

ağırlığını azaltılmak, sabit nesnenin alanı ile de filtre alanını artırmak kastedilmektedir. Filtre ağırlığı azaldığında filtre boyutu küçülecek, filtreleme alanı küçüldüğünde ise filtreleme debisi düşecektir. Burada teknik bir çelişki söz konusudur. Çelişki matrisinde 2. ve 6. parametrelerin kesiştirilmesi sonucunda çözüm ilkeleri olarak 35 (parametre değişikliği), 30 (esnek zar veya ince filmler), 13 (eylemi tersten düşünme), 2 (çıkarma) belirlenir. Bunlardan 35. ve 30. çözüm ilkelerinden problemi çözmede faydalanılabilir.

Çizelge 8.6. TP çelişkilerinin TRIZ ile çözümü

TP ilişki matrisindeki çelişkiler		TRIZ çelişkisi	TRIZ çözüm ilkeleri	En uygun prensipler	Problem no
1	Ağırlık-filtreleme alanı	2-6	35, 30, 13, 2	35, 30	P1
2	Ağırlık-filtreleme debisi	8-2	35, 10, 19, 14	35	P2
3	Bulanıklık-temizleme süresi	15-10	19, 2, 16	19, 16	P3
4	Bulanıklık-çalışma basıncı	15-10	19, 2, 16	19, 16	P3
5	Bulanıklık-su tüketimi	15-26	3, 35, 10, 40	3, 10	P4
6	Filtreleme alanı-temizleme süresi	39-15	35, 10, 2, 18	35, 10	P5
7	Filtreleme alanı-enerji tüketimi	19-11	23, 14, 25	23, 14, 25	P6
8	Filtreleme alanı-çalışma basıncı	19-11	23, 14, 25	23, 14, 25	P6
9	Filtreleme alanı-su tüketimi	15-26	3, 35, 10, 40	3, 10	P4
10	Filtreleme derecesi-filtreleme debisi	39-10	28, 15, 10, 36	10	P7
11	Filtreleme derecesi-filtreleme sürekliliği	11-27	10, 13, 19, 35	10, 19	P8
12	Filtreleme derecesi-temizleme süresi	15-10	19, 2, 16	19, 16	P3
13	Filtreleme derecesi-enerji tüketimi	19-11	23, 14, 25	23, 14, 25	P6
14	Filtreleme derecesi-verimlilik	39-10	28, 15, 10, 36	10	P7
15	Filtreleme derecesi-çalışma basıncı	19-11	23, 14, 25	23, 14, 25	P6
16	Filtreleme derecesi-su tüketimi	15-26	3, 35, 10, 40	3, 10	P4
17	Emniyet-çalışma basıncı	11-27	10, 13, 19, 35	10, 19	P8
18	İnsan ve çevre uyumu-çalışma sıcaklığı	27-17	3, 35, 10	3	P9

Parametre değişikliği ilkesine dayanarak 2-6 çelişkisini çözmede şöyle bir tanım yapılabilir: “Filtre sisteminde hafif, dayanıklı ve paslanmaz malzemeler seçilmelidir”. Bu tanım yaratıcı problem tanımı olarak kabul edilebilir. Benzer şekilde *esnek zar veya ince filmler* ilkesine dayanarak 2-6 çelişkisini çözmede şöyle bir tanım yapılabilir: “Filtre sistemindeki malzemeler yeteri kadar ince kalınlıkta ve 10 bar basınçta emniyetli çalışabilmeli”. 2-6 çelişkisi için toplam iki problem tanımı elde edilmiştir. Bu iki tanım bir tanımda birleştirilirse: “Gerekli malzemeler en az kalınlıkta, hafif, 10 bar basınca dayanıklı, paslanmaz olmalıdır”. Ulaşılan son problem tanımı, ağırlık-filtreleme alanı çelişkisine çözüm niteliğinde bir problem

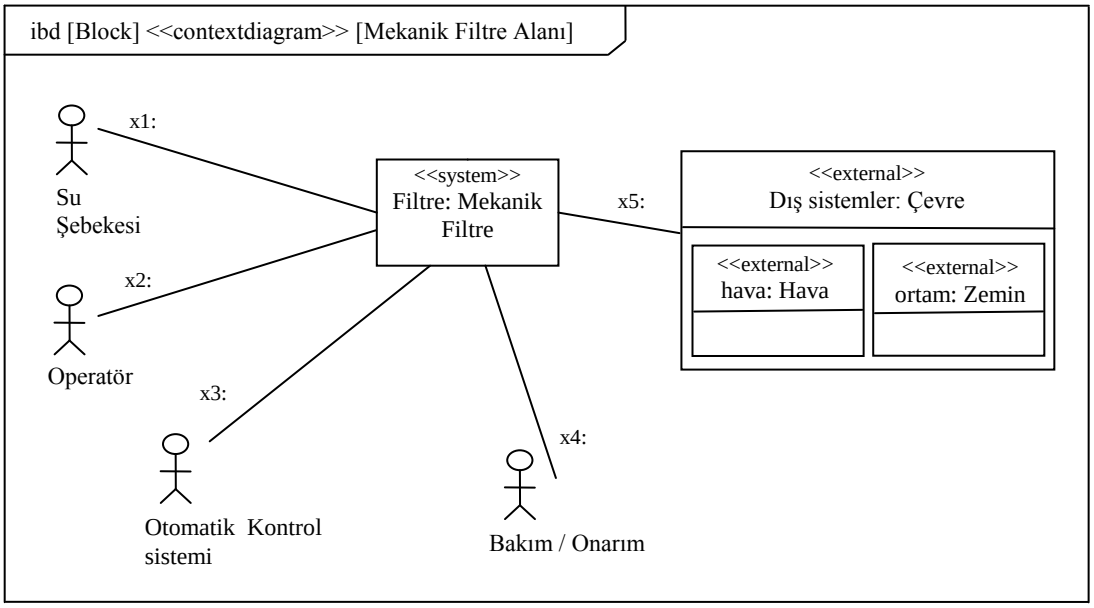
tanımıdır. Diğer çelişkiler de aynı yolla analiz edildiğinde Çizelge 8.7'de verilen diğer yaratıcı problem tanımları elde edilir.

Çizelge 8.7. Çelişkileri çözecek yaratıcı problem tanımları veya çözümleri

Problem no	Yaratıcı problem tanımı
P1	Gerekli malzemeler en az kalınlıkta, hafif, 10 bar basınca dayanıklı, paslanmaz olabilir
P2	Su giriş ve çıkışlarında hafif, dayanıklı ve esnek malzeme kullanılabilir
P3	Temizleme işlemi peryodik ve basınçlı su ile yapılabilir
P4	Temizleme uçlarında vakum ve kir toplayıcı profillerden faydalanılabilir
P5	Kir toplayıcı uç alanı genişletilebilir
P6	Suyun hidrolik enerjisi ile kendini temizleme, silindirik tasarım, çek valf kontrolü
P7	Yerçekimi ile basıncı artırma ve ters yönde yay baskısı oluşturma
P8	Aksaklık halinde iki yönlü hareket, kendini onarma, son ihtimalde by-pass uygulama
P9	Sıcaklık sorunu olan yerleri yalıtma

8.9. Sistem Kapsam Diyagramları Oluşturma

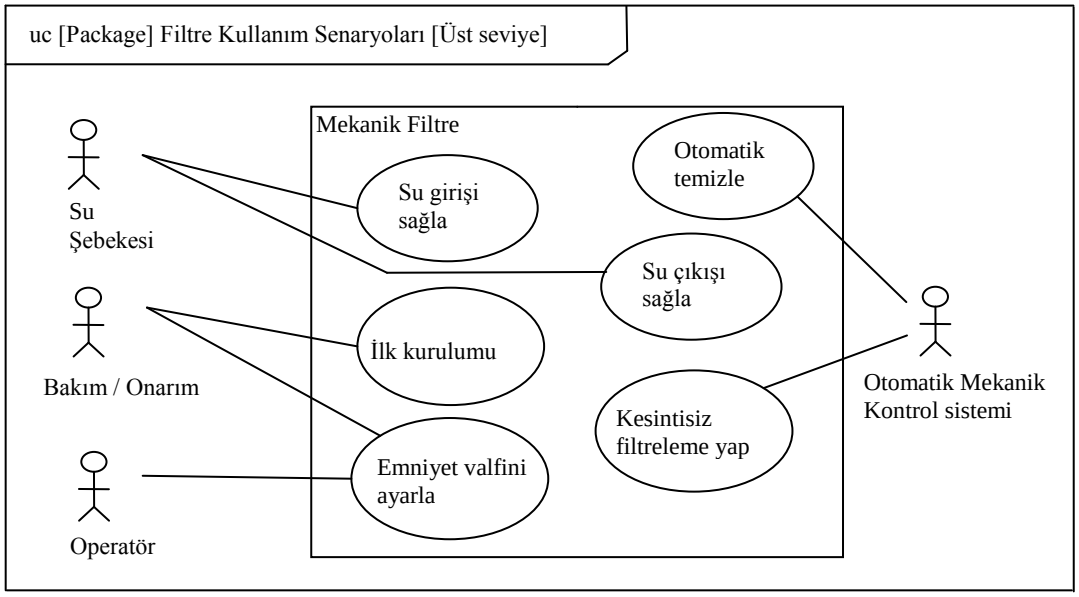
Bir ürün tasarımı yapılırken sadece bunun iç yapısını analiz etmek yeterli olmayacaktır. Ayrıca çevre koşulları, ürünü doğrudan veya dolaylı etkileyen aktörler ve varsa alt sistem ya da üst sistem, ürün üzerinde etkilere sahip olabilir. KT yaklaşımı bu konuda yetersiz kalmıştır. Bu durum SysML diyagramlarında kapsam diyagramı ile etkin hale getirilebilir. Bu amaçla yeni KT sürecine kapsam diyagramı dahil edilmiştir. Şekil 8.11'de mekanik filtre alanını belirleyen bir kapsam diyagramı örneği verilmiştir. Şekilde mekanik filtre sistemi 5 ayrı faktör ile ilişki içindedir. Bunlardan 4'ü aktörler (su şebekesi, operatör, otomatik kontrol sistemi ve bakım/onarım birimi) ve 1'i dış sistemlerden (hava, zemin) oluşmaktadır. Dolayısıyla filtre tasarımı yapılırken bakım/onarım, emniyet, operatör kullanımı, hava koşulları vb. hususlar dikkate alınmalıdır.



Şekil 8.11. Mekanik filtre kapsam diyagramı

8.10. Kullanım Senaryo Diyagramlarını Oluşturma

Diğer taraftan dış aktörler ve sistemlerin geliştirilecek ürüne göstereceği davranışlar özellikle fonksiyonel tasarımlarda büyük önem kazanmaktadır. Fonksiyonların belirlenmesine temel teşkil edebilecek bu davranışlar kullanım senaryo diyagramı ile kolay bir şekilde gösterilebilir. Kapsam diyagramındaki dış aktörlerin mekanik filtreye karşı gösterecekleri davranışlar bir kullanım senaryo diyagramında Şekil 8.12'de verilmiştir. Buradaki kullanım senaryoları fonksiyon belirleme ve fonksiyon yapısı oluşturmada faydalı olacaktır.



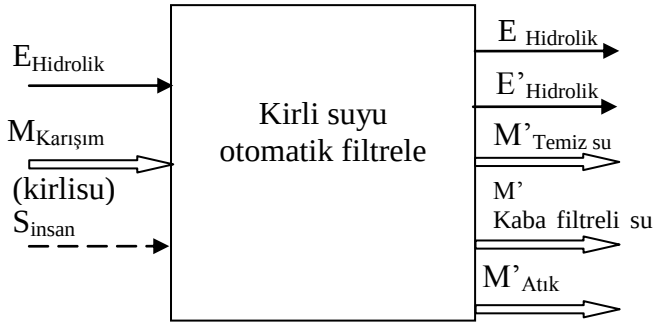
Şekil 8.12. Mekanik filtreye ait üst seviye kullanım senaryoları

8.11. Alt Fonksiyonlar Belirleme ve Fonksiyon Yapısı Oluşturma

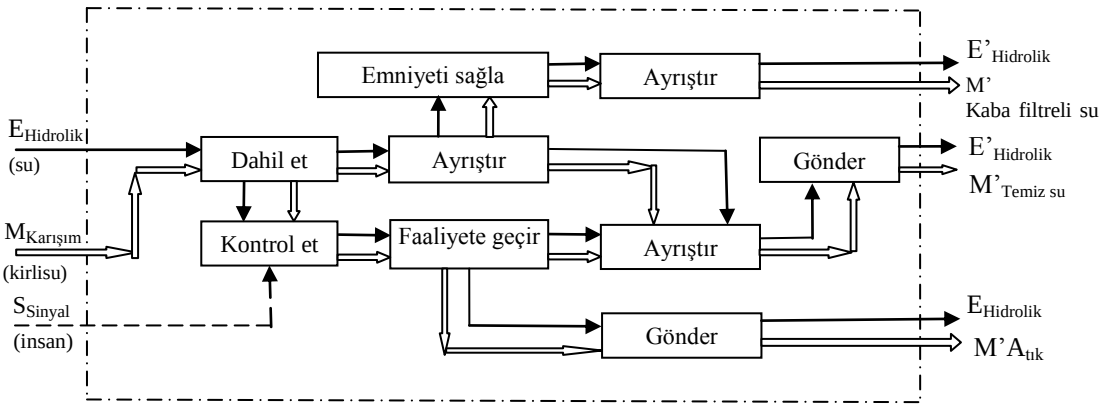
Alt fonksiyon belirleme ve fonksiyon yapısı oluşturma işleminde KT ve FB yaklaşımı birlikte kullanılmıştır. FB yaklaşımı, standart, yeniden kullanılabilir fonksiyon yapıları geliştirmede kolaylık olması amacıyla kullanılmıştır. KT yaklaşımında alt fonksiyon üretmek için; önce problem formülasyonu yapılır sonra tüm fonksiyon tanımı yapılır, arkasından tüm fonksiyon tanımından çeşitli alt fonksiyonlar oluşturulur. Ancak bu alt fonksiyon oluşturma stratejisi oldukça nesnel ve geçerliliği düşüktür. Buna karşın daha pratik bir çözüm, kullanım senaryolarından fonksiyon türetmektir. Örneğin, mekanik filtre kullanım senaryolarından FB tabanlı türetilebilecek alt fonksiyonlar:

1- Su girişi sağla-dahil et
2- Su çıkışı sağla-gönder
3- Emniyet valfini ayarla-emniyet sağla
4- Kesintisiz filtreleme yap-emniyet sağla+ayrıştır
5- Otomatik temizle-kontrol et+faaliyete geçir olarak belirlenebilir.

Görüldüğü gibi kolay bir şekilde önemli alt fonksiyonlar oluşturulmuştur. KT yaklaşımında SysML diyagramı olan kullanım senaryoları kullanmak tasarımda isabetli, standart fonksiyonları çok hızlı belirlemeye, dolayısıyla KT süresini önemli oranda kısaltmaktadır. Örnek tasarım için fonksiyon yapıları geliştirmek için önce tüm fonksiyon yapısı (Şekil 8.13) ve sonra ayrıntılı fonksiyon yapısı (Şekil 8.14) oluşturulmuştur.



Şekil 8.13. Mekanik filtreye ait tüm fonksiyon yapısı

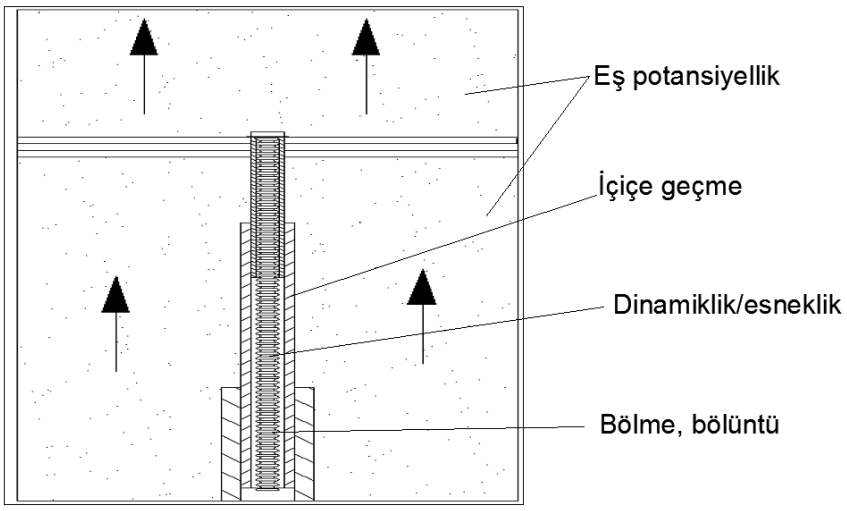


Şekil 8.14. Mekanik filtre için ayrıntılı fonksiyon yapısı

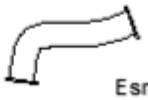
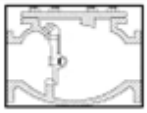
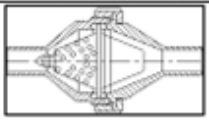
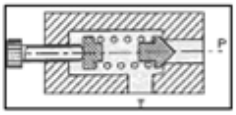
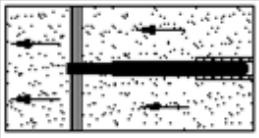
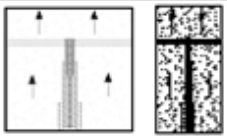
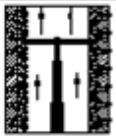
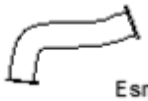
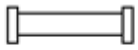
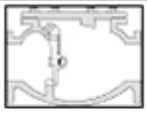
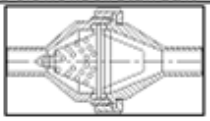
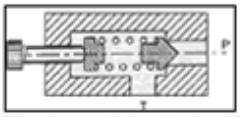
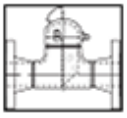
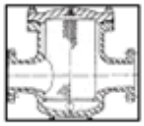
8.12. Alt Fonksiyonlara Çözümler Arama

Mekanik filtre alt fonksiyonlarına çözüm aramada geleneksel yöntemlerden (mevcut sistemleri tarama ve kaynak araştırması) ve TRIZ teorisinden faydalanılmıştır. Toplam 9 alt fonksiyon belirlenmiş ve bunlara en uygun çözümler aranmıştır.

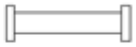
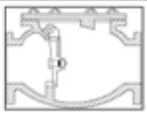
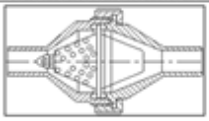
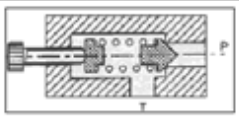
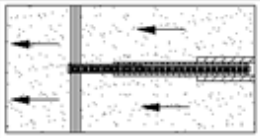
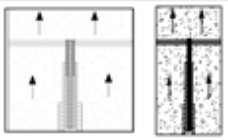
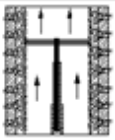
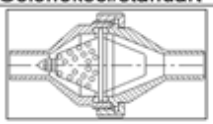
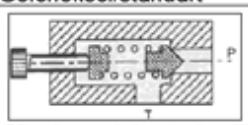
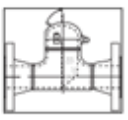
Çözümler genellikle standart alınmıştır. Ancak bir alt fonksiyon (otomatik temizleme) için özgün tasarıma ihtiyaç duyulmuştur. Özgün tasarımlarda TRIZ oldukça başarılıdır. Burada doğrudan 40 prensipten faydalanılmıştır. Çünkü daha çok sistem düzeyinde çözüm aranmaktadır. Eğer daha alt sistem ya da teknik çelişki üzerinde çözüm aranırsa çelişki matrisinden faydalanılabilir. Eğer parça(lar) düzeyinde problem varsa madde-alan analizi kullanılabilir. Faaliyete geçir (otomatik temizleme) fonksiyonunu yerine getiren örnek bir çözüm Şekil 8.15'de verilmiştir. Bu çözüm önerisinde birkaç TRIZ prensibi aynı anda kullanılmıştır. Diğer alt fonksiyonlar, bunların çözümleri, ilişkili oldukları problemler, ihtiyaçlar ve çözümünde kullanılan çözüm yöntemleri; Şekil 8.16, 8.17 ve 8.18'de detaylı olarak gösterilmiştir.



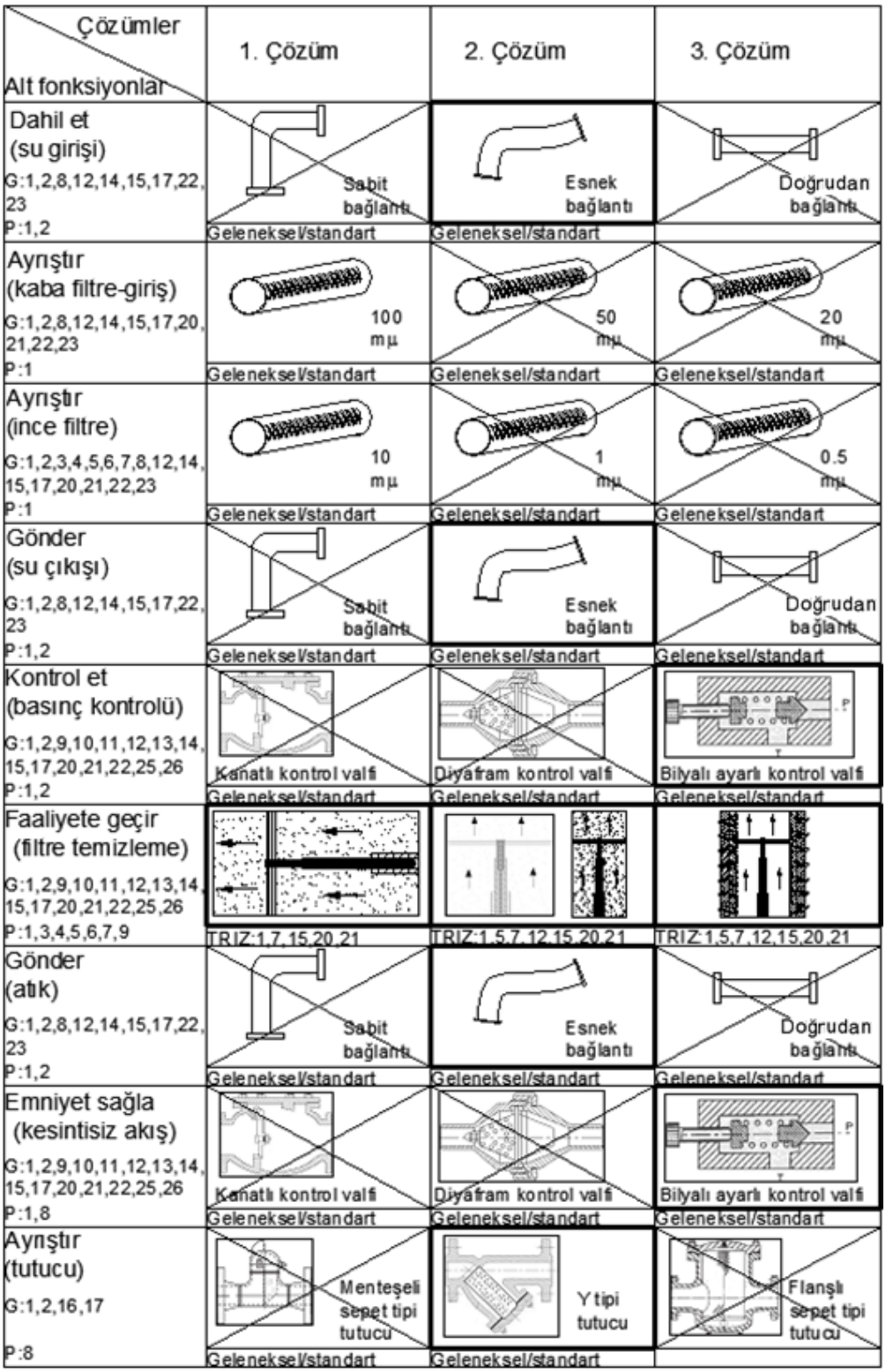
Şekil 8.15. Birden fazla TRIZ çözümüyle özgün tasarım örneği

Çözümler / Alt fonksiyonlar	1. Çözüm	2. Çözüm	3. Çözüm
Dahil et (su girişi) G:1,2,8,12,14,15,17,22,23 P:1,2	 Sabit bağlantı Geleneksel/standart	 Esnek bağlantı Geleneksel/standart	 Doğrudan bağlantı
Ayrıştır (kaba filtre-giriş) G:1,2,8,12,14,15,17,20,21,22,23 P:1	 100 mμ Geleneksel/standart	 50 mμ Geleneksel/standart	 20 mμ Geleneksel/standart
Ayrıştır (ince filtre) G:1,2,3,4,5,6,7,8,12,14,15,17,20,21,22,23 P:1	 10 mμ Geleneksel/standart	 5 mμ Geleneksel/standart	 0.5 mμ Geleneksel/standart
Gönder (su çıkışı) G:1,2,8,12,14,15,17,22,23 P:1,2	 Sabit bağlantı Geleneksel/standart	 Esnek bağlantı Geleneksel/standart	 Doğrudan bağlantı Geleneksel/standart
Kontrol et (basınç kontrolü) G:1,2,9,10,11,12,13,14,15,17,20,21,22,25,26 P:1,2	 Kanatlı kontrol valfi Geleneksel/standart	 Diyafram kontrol valfi Geleneksel/standart	 Bilyalı ayarlı kontrol valfi Geleneksel/standart
Faaliyete geçir (filtre temizleme) G:1,2,9,10,11,12,13,14,15,17,20,21,22,25,26 P:1,3,4,5,6,7,9	 TRIZ:1,7,15,20,21,	 TRIZ:1,5,7,12,15,20,21	 TRIZ:1,5,7,12,15,20,21
Gönder (atık) G:1,2,8,12,14,15,17,22,23 P:1,2	 Sabit bağlantı Geleneksel/standart	 Esnek bağlantı Geleneksel/standart	 Doğrudan bağlantı Geleneksel/standart
Emniyet sağla (kesintisiz akış) G:1,2,9,10,11,12,13,14,15,17,20,21,22,25,26 P:1,8	 Kanatlı kontrol valfi Geleneksel/standart	 Diyafram kontrol valfi Geleneksel/standart	 Bilyalı ayarlı kontrol valfi Geleneksel/standart
Ayrıştır (tutucu) G:1,2,16,17 P:8	 Menteşeli sepet tipi tutucu Geleneksel/standart	 Y tipi tutucu Geleneksel/standart	 Flanşlı sepet tipi tutucu

Şekil 8.16. Mekanik filtre alt fonksiyonlarına çözümler-1

Çözümler / Alt fonksiyonlar	1. Çözüm	2. Çözüm	3. Çözüm
Dahil et (su girişi) G:1,2,8,12,14,15,17,22,23 P:1,2	 Sabit bağlantı Geleneksel/standart	 Esnek bağlantı Geleneksel/standart	 Doğrudan bağlantı
Ayrıştır (kaba filtre-giriş) G:1,2,8,12,14,15,17,20,21,22,23 P:1	 100 mμ Geleneksel/standart	 50 mμ Geleneksel/standart	 20 mμ Geleneksel/standart
Ayrıştır (ince filtre) G:1,2,3,4,5,6,7,8,12,14,15,17,20,21,22,23 P:1	 10 mμ Geleneksel/standart	 5 mμ Geleneksel/standart	 0.5 mμ Geleneksel/standart
Gönder (su çıkışı) G:1,2,8,12,14,15,17,22,23 P:1,2	 Sabit bağlantı Geleneksel/standart	 Esnek bağlantı Geleneksel/standart	 Doğrudan bağlantı Geleneksel/standart
Kontrol et (basınç kontrolü) G:1,2,9,10,11,12,13,14,15,17,20,21,22,25,26 P:1,2	 Kanatlı kontrol valfi Geleneksel/standart	 Diyaframkontrol valfi Geleneksel/standart	 Bilyalı ayarlı kontrol valfi Geleneksel/standart
Faaliyete geçir (filtre temizleme) G:1,2,9,10,11,12,13,14,15,17,20,21,22,25,26 P:1,3,4,5,6,7,9	 TRIZ:1,7,15,20,21,	 TRIZ:1,5,7,12,15,20,21	 TRIZ:1,5,7,12,15,20,21
Gönder (atık) G:1,2,8,12,14,15,17,22,23 P:1,2	 Sabit bağlantı Geleneksel/standart	 Esnek bağlantı Geleneksel/standart	 Doğrudan bağlantı Geleneksel/standart
Emniyet sağla (kesintisiz akış) G:1,2,9,10,11,12,13,14,15,17,20,21,22,25,26 P:1,8	 Kanatlı kontrol valfi Geleneksel/standart	 Diyafram kontrol valfi Geleneksel/standart	 Bilyalı ayarlı kontrol valfi Geleneksel/standart
Ayrıştır (tutucu) G:1,2,16,17 P:8	 Menteşeli sepet tipi tutucu Geleneksel/standart	 Y tipi tutucu Geleneksel/standart	 Flanşlı sepet tipi tutucu

Şekil 8.17. Mekanik filtre alt fonksiyonlarına çözümler-detaylı



Şekil 8.18. Mekanik filtre alt fonksiyonlarına çözümler-elenmiş çözümler

Şekil 8.18 incelendiğinde çözümlerden bir kısmı elenmiştir. Çünkü elenen çözümler ilişkili olduğu problem ve ihtiyaçları tamamen karşılayamamaktadır. Örneğin 1. alt fonksiyona ait sabit bağlantılı çözümler, hafif ve esnek olma özelliğine sahip değildir. Sadece 2 nolu çözüm olan esnek boru bağlantısı seçilmiştir. Diğer çözümlerde benzer şekilde sorgulanmıştır.

8.13. Uygun Çözümleri Belirleme

Seçilen çözümlerle oluşturulan sistem kombinasyonları: 1.2-2.1-3.1-4.2-5.3-6.1-7.2-8.3-9.2, 1.2-2.1-3.1-4.2-5.3-6.2-7.2-8.3-9.2 ve 1.2-2.1-3.1-4.2-5.3-6.3-7.2-8.3-9.2 olmak üzere 3 seçenekten oluşmuştur. Bu çözüm seçenekleri daha sonra seçim kartında bir ön değerlendirmeye tabii tutulur (Çizelge 8.8). Değerlendirme sonucunda 1. çözüm seçeneği üzerinde tekrar çalışılması gerektiği ortaya çıkmıştır. 2. ve 3. çözüm seçenekleri ise ön şartları sağlamaktadır.

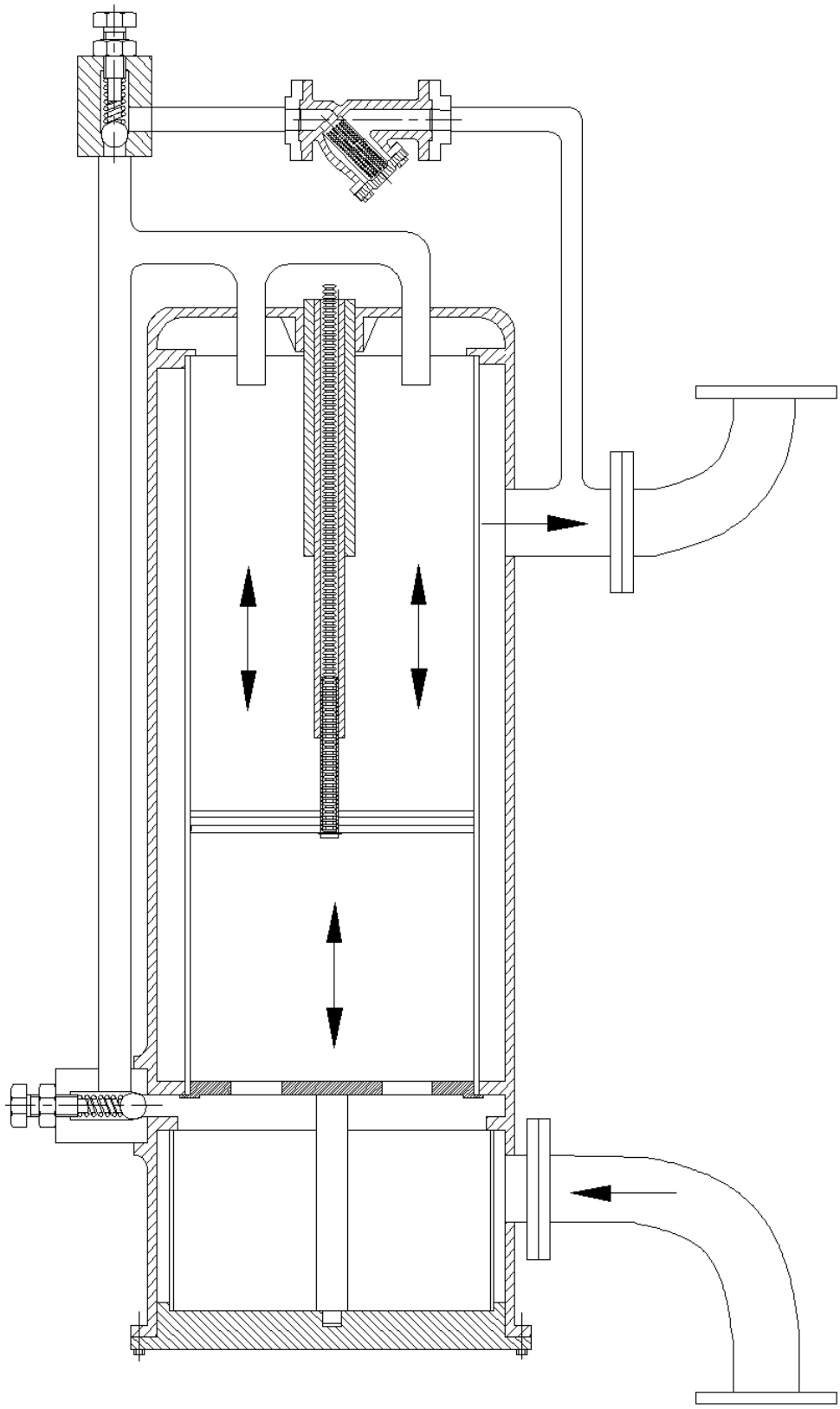
Çizelge 8.8. Mekanik filtre çözüm seçeneklerini seçim kartıyla değerlendirme

		SEÇİM KARTI Tam otomatik mekanik su filtresi								
Çözüm varyantları		KARAR KRİTERLERİ (+) Evet (-) Hayır (?) Bilgi eksikliği (!) Şartı kontrol et								KARAR KARAR KRİTERLERİ (+) Çözümü sürdür (-) Çözümü çıkar (?) Bilgi topla (!) Değişiklikler için şartnameyi kontrol et
		Tüm fonksiyonla uyumlu								
			Şartname isteklerini karşılar							
				Prensipte gerçekleşebilirlik						
					Müsaade edilebilir maliyet					
						Emniyet şartlarını doğrudan karşılar				
							Tasarımcı şirketince tercih edilir			
								Yeterli bilgi		
		A	B	C	D	E	F	G	Görüşler(sebepler)	
ÇS1	1	+	!	+	+	+	?	+	Gerekli basıncı sağlamıyor	?
ÇS2	2	+	+	+	+	+	?	+	Geliştirilmeye ihtiyacı var	+
ÇS3	3	+	+	+	!	+	?	+	Geliştirilmeye ihtiyacı var	+

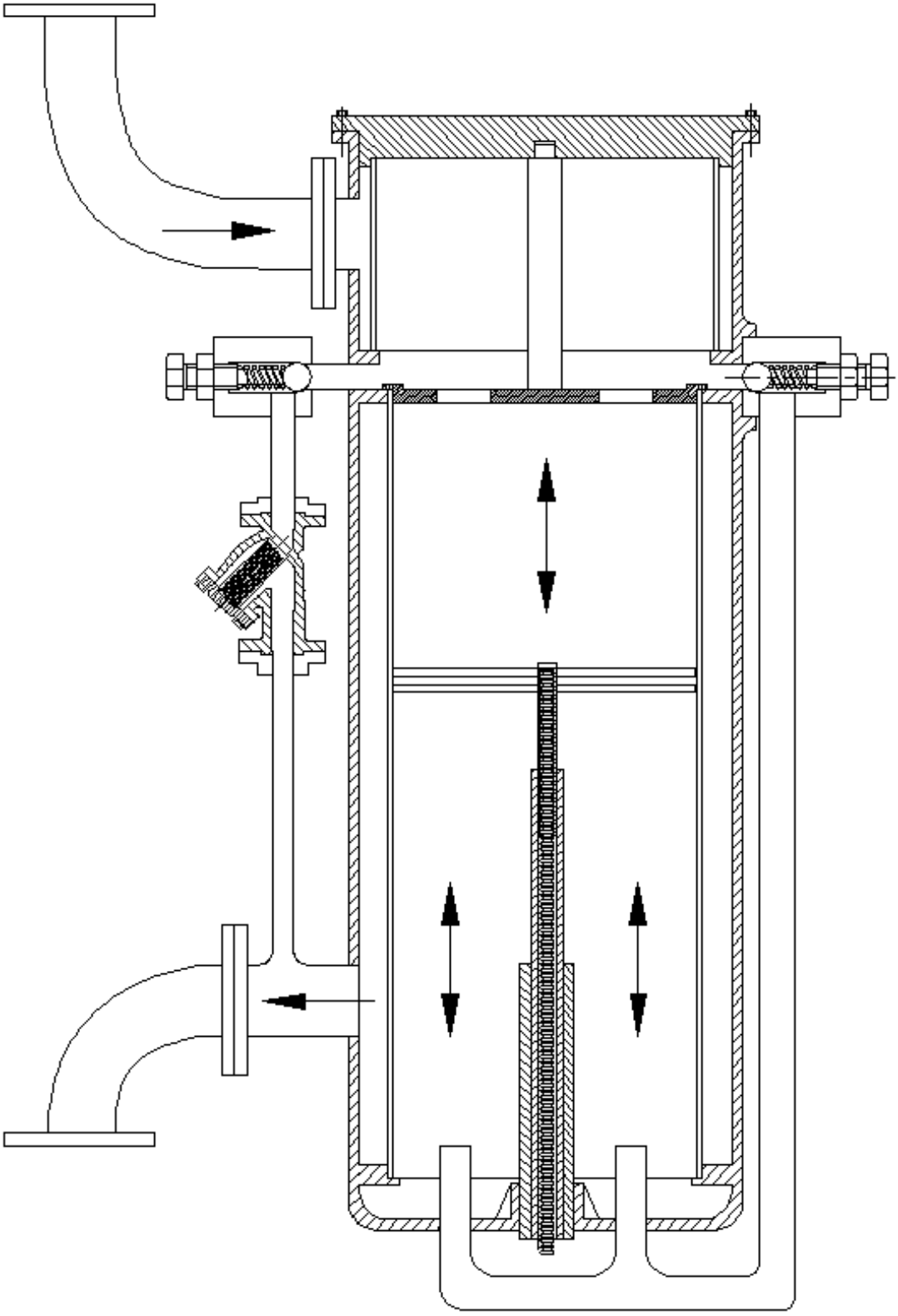
Sistemin daha iyi anlaşılması ve yorumlanması için bu üç çözüm seçeneğinin kroki çizimleri Şekil 8.19, 8.20, 8.21'de ayrı ayrı verilmiştir. 1. çözümde sistem yatay konumda tasarlanmıştır. 2. çözümde sistem düşey konumda tasarlanmıştır. 3. çözümde ise sistem düşey konumda iken otomatik temizlemeye su püskürtme (nozzle) mekanizması eklenmiştir. Üç sistem de otomatik temizleme yapabilmektedir. Bu üç sistemin daha detaylı değerlendirmesi sonraki kısımda değerlendirme tablosu ile yapılacaktır.

8.14. İyi Çözüm(ler)e Karar Verme

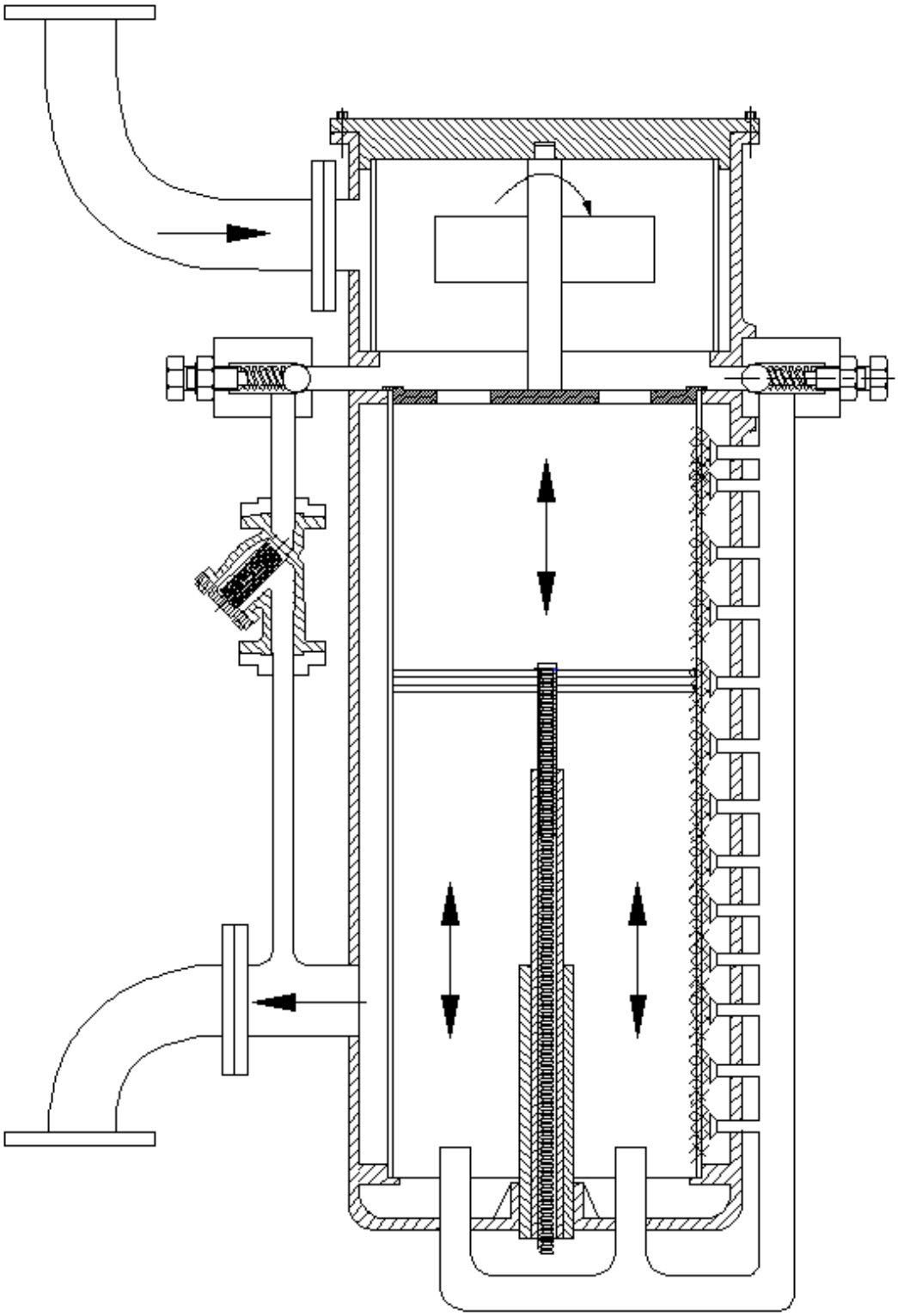
Ön değerlendirmede bu üç çözüm seçeneği kabaca değerlendirilmiştir. Ancak sayısal değerlerle daha detaylı değerlendirilme yapabilmek değerlendirme tablosuna ihtiyaç vardır. Çizelge 8.9'da mekanik filtre çözüm seçeneklerine ait değerlendirme tablosu verilmiştir.



Şekil 8.19. Mekanik filtre tasarımı 1. çözüm seçeneği



Şekil 8.20. Mekanik filtre tasarımı 2. çözüm seçeneği



Şekil 8.21. Mekanik filtre tasarımı 3. çözüm seçeneği

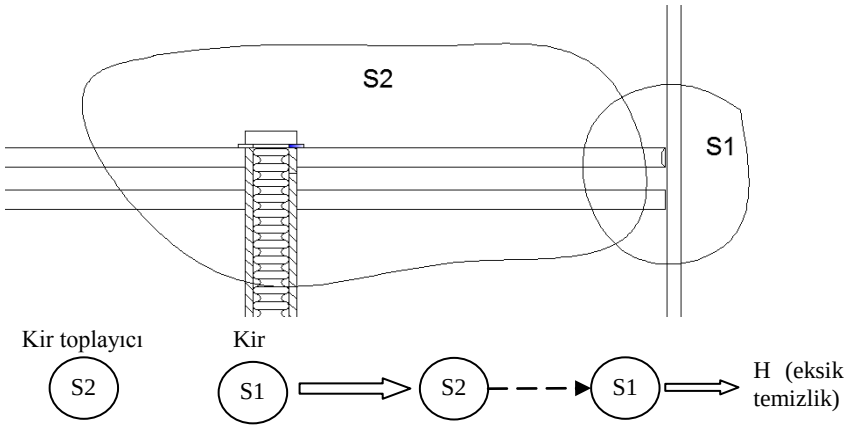
Çizelge 8.9. Mekanik filtre çözüm seçeneklerini ayrıntılı değerlendirme

Değerlendirme ölçütü			Parametreler		1. çözüm seçeneği			**2. çözüm seçeneği**			3. çözüm seçeneği		
				Birim	Büyüklük	Değer	Ağırlık	Büyüklük	Değer	Ağırlık	Büyüklük	Değer	Ağırlık
No		Wt			M_{11}	V_{11}	Wv_{11}	M_{21}	V_{21}	Wv_{21}	M_{31}	V_{31}	Wv_{31}
1	Modülerlik	0,296	Modülerlik	-	iyi	9	2,66	iyi	9	2,66	iyi	9	2,66
2	Ağırlık	0,372	Ağırlık	kg	50-	8	2,98	50-	8	2,98	60-	7	2,6
3	Bulanıklık	0,153	Bulanıklık	NTU	0,5-1	8	1,22	0,5-1	8	1,22	0,5-1	8	1,22
4	Filtreleme alanı	0,728	Filtreleme alanı	m^2	600-	8	5,82	600-	8	5,82	600-	8	5,82
5	Filtreleme derecesi	0,157	Filtreleme derecesi	mμ	10	9	1,41	10	9	1,41	10	9	1,41
6	Filtreleme debisi	0,932	Filtreleme debisi	m^3/h	10-	7	6,52	10-	9	8,39	10-	9	8,39
7	Filtreleme sürekliliği	0,107	Filtreleme sürekliliği	-	iyi	8	0,86	iyi	9	0,96	iyi	9	0,96
8	Temizleme süresi	0,334	Temizleme süresi	sn	7	7	2,34	4	9	3,01	4	9	3,01
9	Enerji tüketimi	0,238	Enerji tüketimi	kW	0	9	2,14	0	9	2,14	0	9	2,14
10	Verimlilik	0,197	Verimlilik	-	iyi	8	1,58	iyi	9	1,77	iyi	9	1,77
11	Malzeme seçimi	0,365	Malzeme seçimi	-	iyi	8	2,92	iyi	8	2,92	iyi	8	2,92
12	Otomatik temizleme	0,375	Otomatik temizleme	-	iyi	9	3,38	iyi	9	3,38	iyi	9	3,38
13	Emniyet	0,238	Emniyet	-	orta	7	1,67	iyi	9	2,14	iyi	9	2,14
14	Basitlik	0,347	Basitlik	-	iyi	8	2,78	iyi	9	3,12	iyi	9	3,12
15	İnsan ve çevre uyumu	0,31	İnsan ve çevre uyumu	-	iyi	8	2,48	iyi	8	2,48	iyi	8	2,48
16	Çalışma basıncı	0,162	Çalışma basıncı	bar	2-10	8	1,3	2-10	9	1,46	2-10	9	1,46
17	Çalışma sıcaklığı	0,127	Çalışma sıcaklığı	°C	60	8	1,02	60	8	1,02	60	8	1,02
18	Su tüketimi	0,222	Su tüketimi	l	5-	8	1,78	2-	9	2	3-	8	1,78
							OWV_1 44,842			OWV_2 **48,885**			OWV_3 48,291

Çizelge 8.9'da verilen değerlendirmeye OWV (Tüm Değer Ağırlığı) değerine göre en iyi çözüm seçeneği 2. çözüm seçeneği olarak belirlenmiştir.

8.15. Madde-Alan Analizi ile Kesin Çözümü İyileştirme

İyi çözüm olarak bulunan 2. çözüm seçeneği üzerinde iyileştirme yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Buradaki sorun kir toplayıcının biriken kek tabakasını tamamen yüzeyden kaldıramamasıdır. Bu sorunu çözümede ayrıntılı analize imkân veren madde-alan analizinden faydalanılacaktır. Şekil 8.22'de iyileştirilecek alan sistem üzerinde daha belirgin olarak gösterilmiştir. Burada S2, etki eden (yani kiri toplayan), S1 ise etkilenen (yani kir tabakası) olur. Madde-alan analizine göre önce problem formülize edilir sonra problem modeli oluşturulur. Arkasından problem modelinde bir eksik varsa tamamlanır. Sorun devam ediyorsa çözüm standartlarından 2. sınıf çözüm önerilerinden faydalanılır. Örnekteki sistemde problem modeli oluşturulmuş olup iyileştirilmeye ihtiyaç duymaktadır.

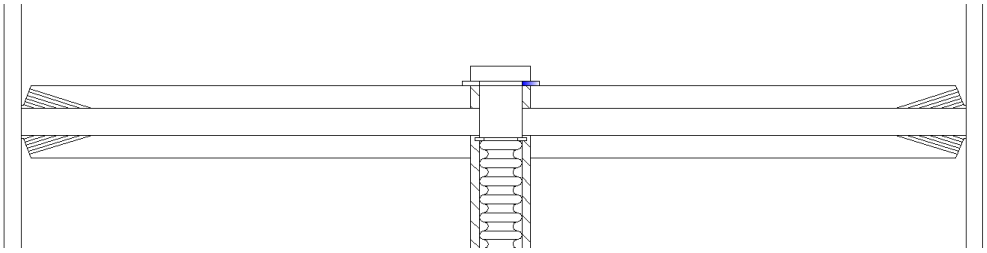


Şekil 8.22. 2. çözüm seçeneğindeki problemin madde-alan analizi

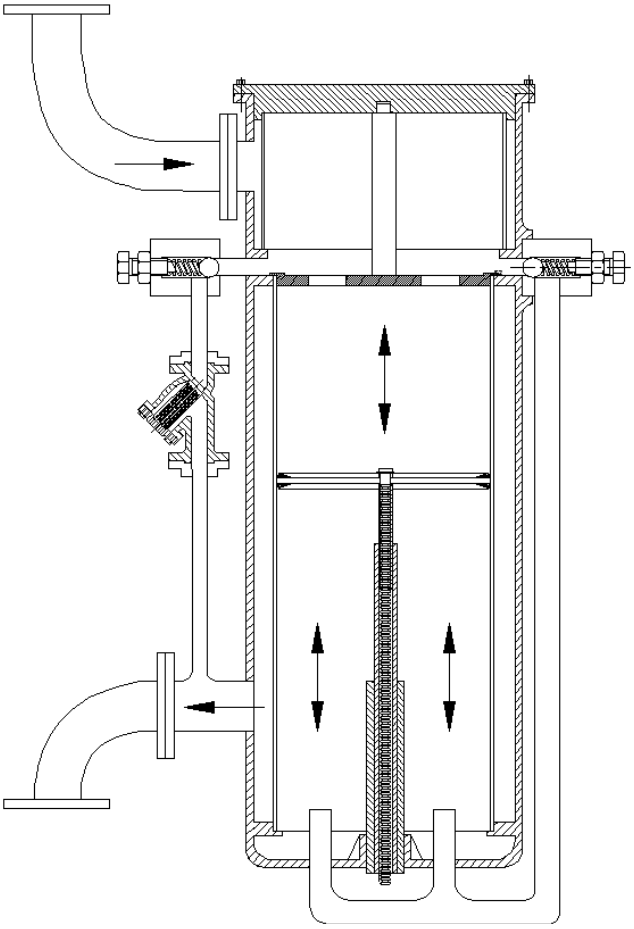
2. sınıf çözüm önerileri incelendiğinde S2-S1 problem modeli için en uygun çözümler:

2.2.3- "S2 maddesini gözenekli hale getir" ve
2.2.4- "Sistemi daha esnek ve uyumlu yap" olarak belirlenir.

Çözüm önerileri probleme uygulandığında kir toplayıcının uç kısımları delikli yapılmış, göbek kısmında ise kirli su akışı için boşaltılmıştır. Problemli bölgenin iyileştirilmiş hali Şekil 8.23'te verilmiştir. 2. çözüm seçeneğinin son hali ise Şekil 8.24'de verilmiştir.



Şekil 8.23. Madde-alan analizi uygulanmış problemli bölgenin son hali



Şekil 8.24. İyileştirilmiş mekanik filtre çözümü

8.16. Tasarım Çıktılarını SysML ile Modelleme

Aşağıda mekanik filtre sisteminin KT tasarımı sonucu oluşan tasarım çıktıları bunlara uygun gelen SysML diyagramlarıyla modellenmiştir.

8.16.1. Tasarım şartnamesini ihtiyaç diyagramı ile modelleme

Mekanik filtre tasarımına ait KT ihtiyaçlar, ihtiyaç diyagramı ile modellenmiştir. Bu modelleme işleminde <<requirement>> stereotipi kullanılmıştır. Özellikler olarak her ihtiyaca ait önem derecesi verilmiştir. İhtiyaçların tamamı Şekil 8.25'de ihtiyaç diyagramında verilmiştir.

8.16.2. Tasarım parametrelerini ihtiyaç diyagramı ile modelleme

Mekanik filtre tasarımına ait tasarım parametreleri, ihtiyaç diyagramı ile modellenmiştir. SysML kütüphanesine <<designparameters>> şeklinde yeni bir stereotip eklenerek modelleme tamamlanmıştır. Özellikler olarak parametrelerin yüzde önem dereceleri verilmiştir. Parametrelerin tamamı Şekil 8.26'da ihtiyaç diyagramında yer almaktadır.

8.16.3. TP çelişkilerini ihtiyaç diyagramı ile modelleme

Tasarım parametrelerinden çıkarılan çelişkiler, ihtiyaç diyagramı ile modellenmiştir. SysML kütüphanesine <<contradictions>> şeklinde yeni bir stereotip eklenerek modelleme işlemi tamamlanmıştır. Özellikler olarak bu çelişkileri ortadan kaldıran yaratıcı problem numaraları verilmiştir. Çelişkilerin tamamı Şekil 8.27'de ihtiyaç diyagramında görülmektedir.

8.16.4. Yaratıcı problem tanımlarını ihtiyaç diyagramı ile modelleme

Çelişki çözümünde kullanılan problem tanımları/çözümleri, ihtiyaç diyagramı ile modellenmiştir. SysML kütüphanesine <<problemdefinitions>> şeklinde yeni bir

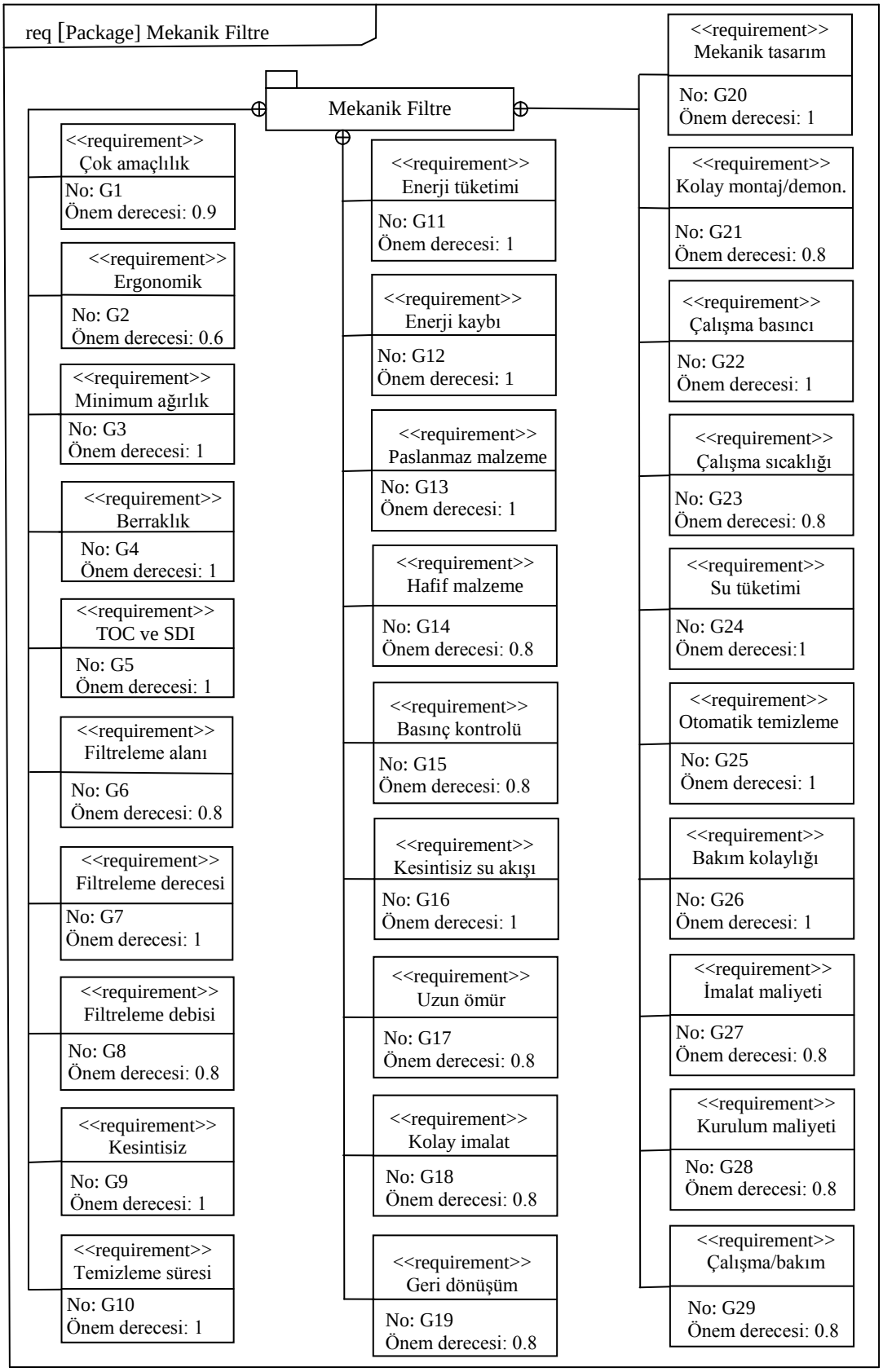
stereotip eklenerek modelleme tamamlanmıştır. Özellikler olarak problem tanım metinleri verilmiştir. Bu tasarıma ait problem tanımlarının tamamı Şekil 8.28'de ihtiyaç diyagramında gösterilmiştir.

8.16.5. Alt fonksiyonları blok diyagramı ile modelleme

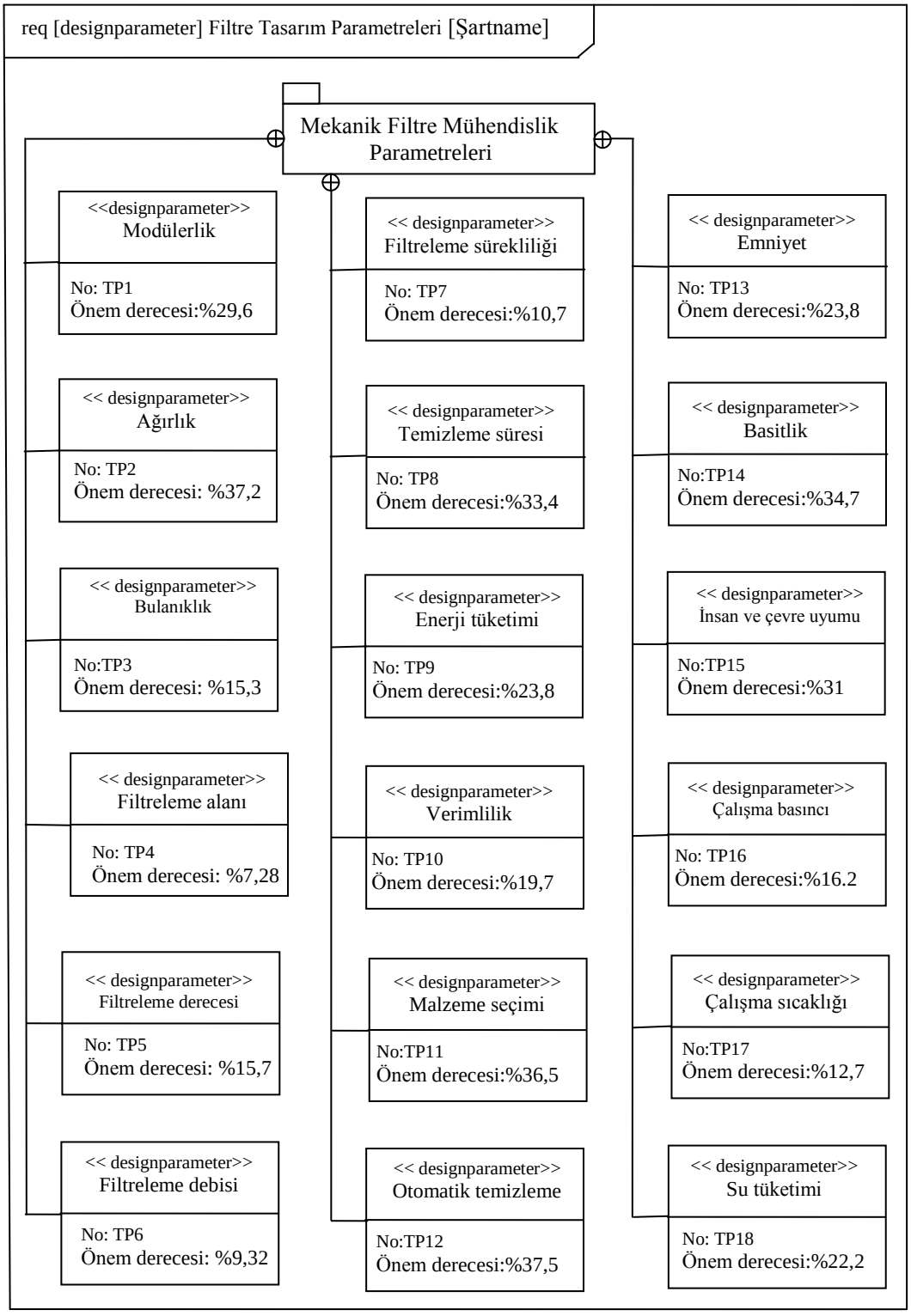
Alt fonksiyonlar ve çözümleri, blok diyagramı ile modellenmiştir. SysML kütüphanesine <<subfunction>> şeklinde yeni bir stereotip eklemesi ile modelleme tamamlanmıştır. Özellikler olarak alt fonksiyona ait nesne, çözüm, çözülen problemler, giderilen ihtiyaçlar verilmiştir. Fonksiyonların tamamı Şekil 8.29'da blok diyagramında görülmektedir.

8.16.6. Kesin çözüm seçeneğini blok diyagramı ile modelleme

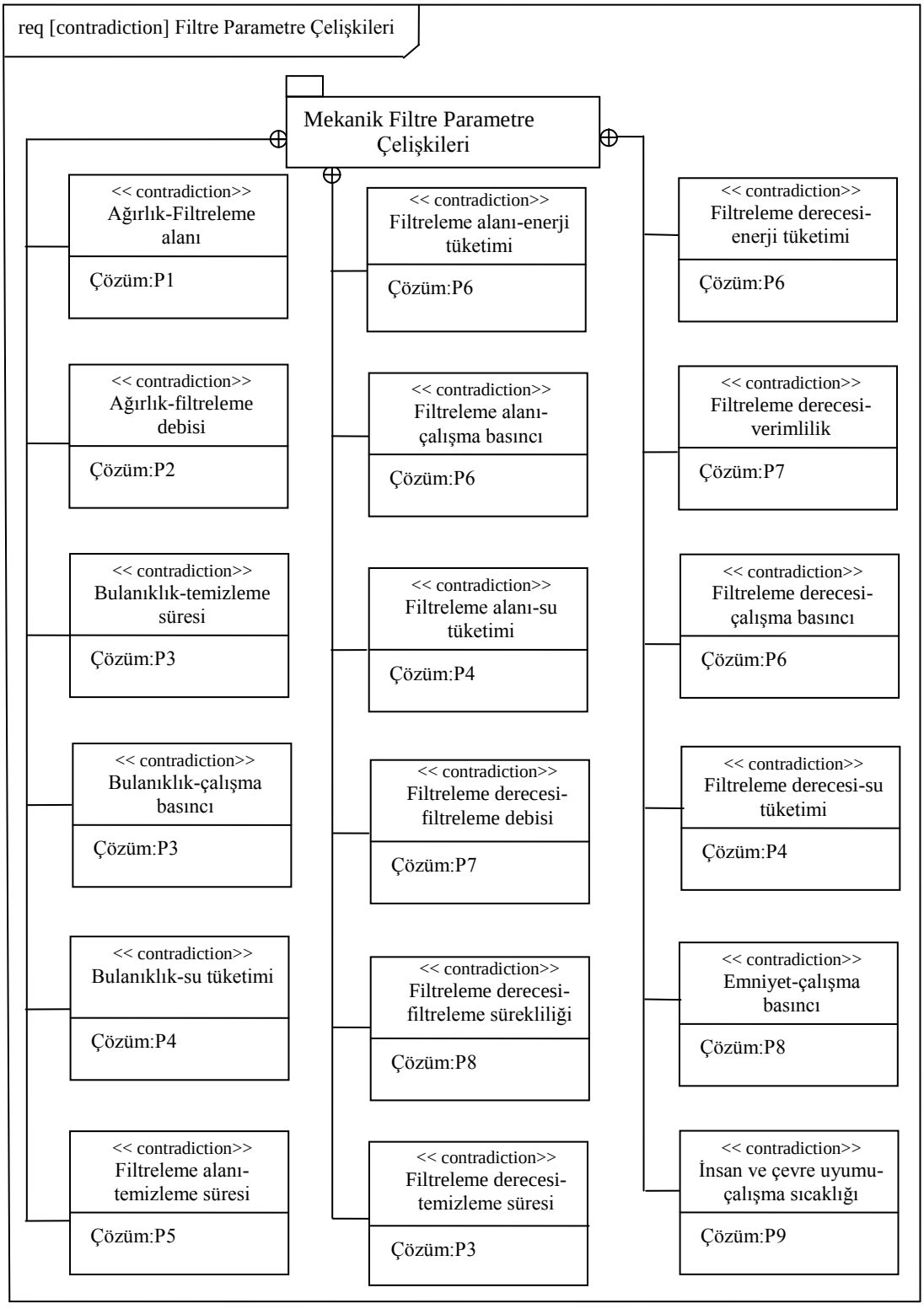
Mekanik filtre tasarımına ait kesin çözüm seçeneği, blok diyagramı ile modellenmiştir. Modellemede <<block>> stereotipi kullanılmıştır. Özellikler olarak ilgili çözüm yapısının fonksiyonu verilmiştir. Mekanik filtre tasarımına ait kesin çözüm Şekil 8.30'da görülen blok diyagramında verilmiştir.



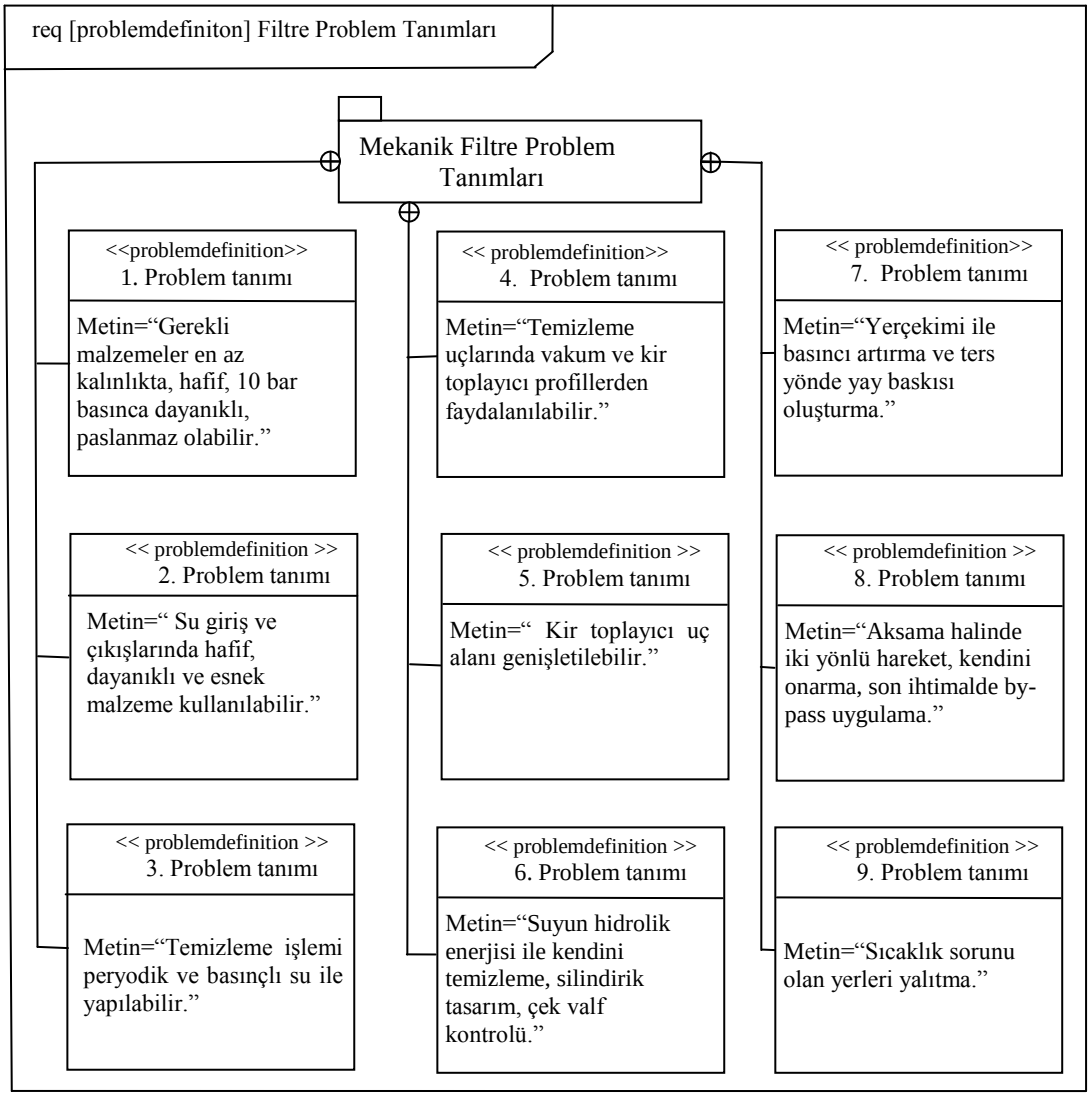
Şekil 8.25. İhtiyaçları ihtiyaç diyagramı ile modelleme



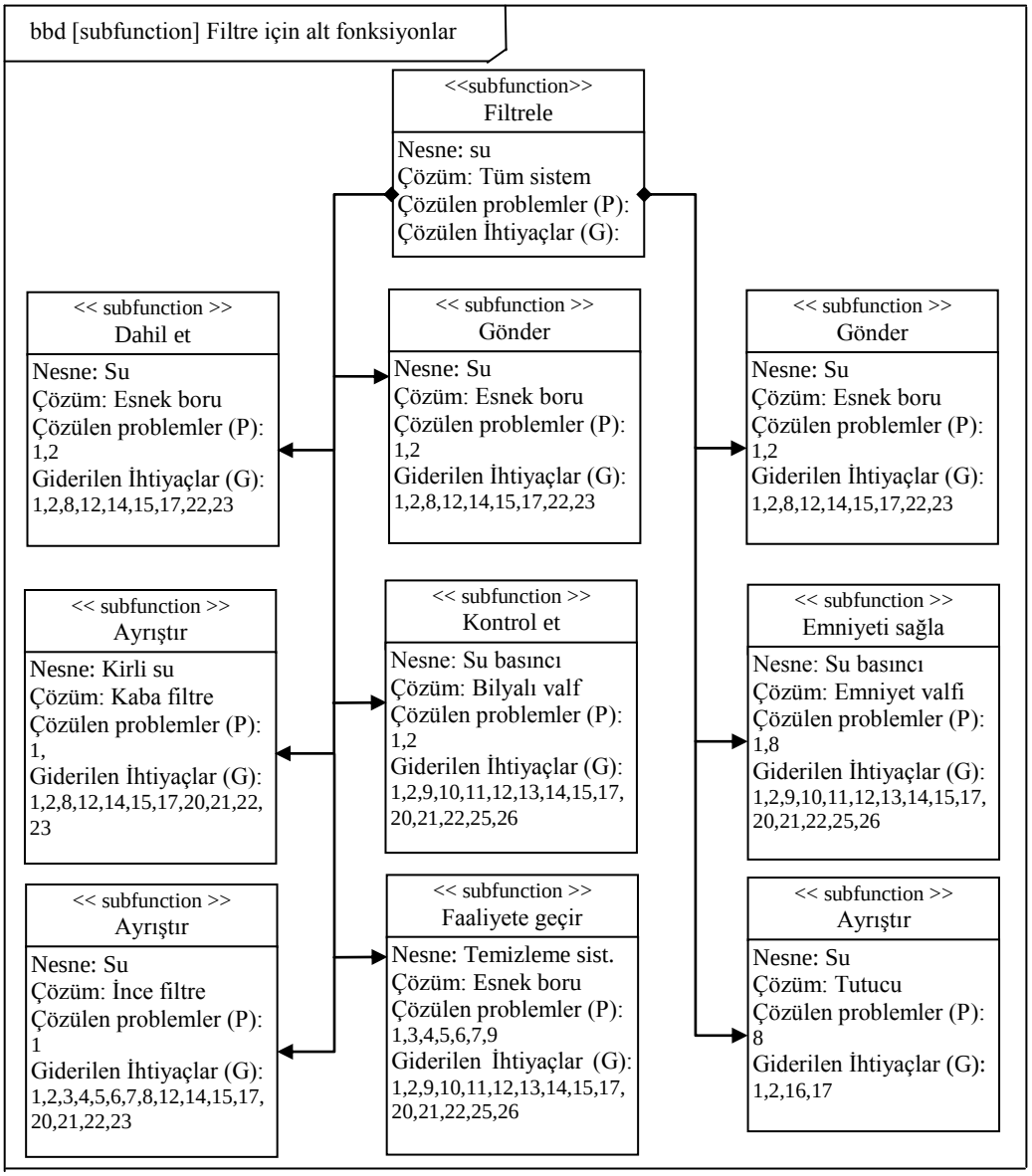
Şekil 8.26. Tasarım parametrelerini ihtiyaç diyagramı ile modelleme



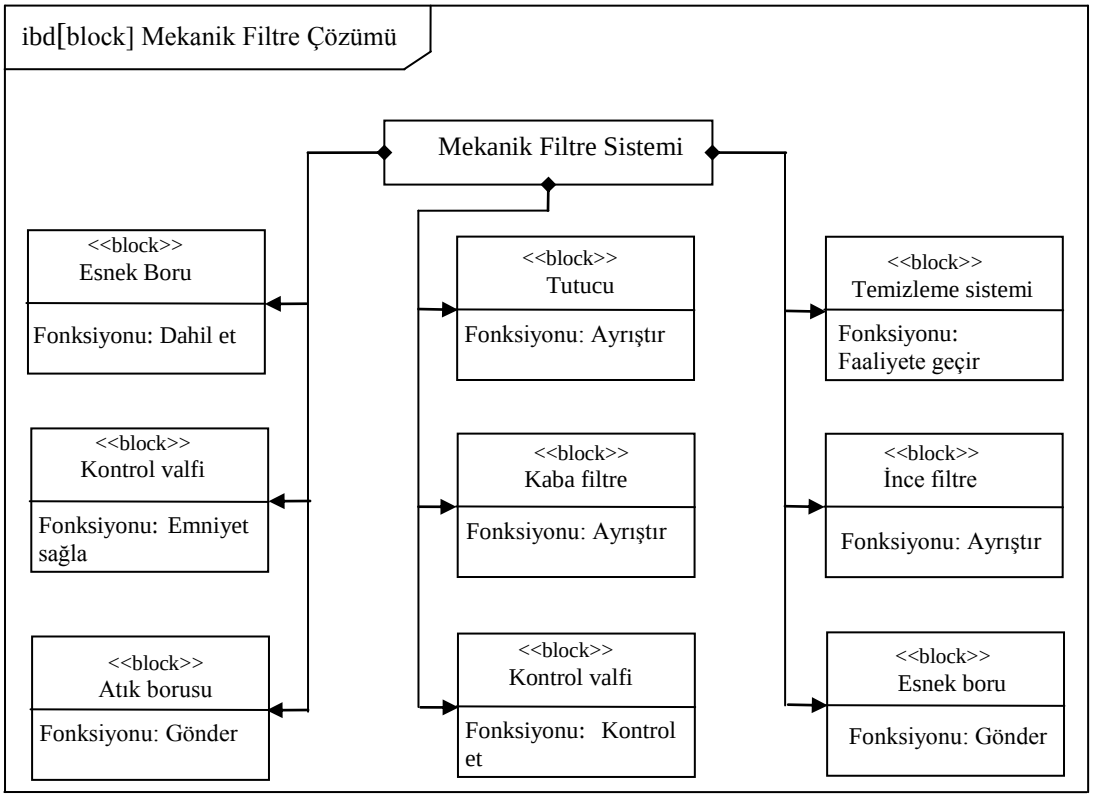
Şekil 8.27. Parametre çelişkilerini ihtiyaç diyagramı ile modelleme



Şekil 8.28. Problem tanımlarını ihtiyaç diyagramı ile modelleme



Şekil 8.29. Alt fonksiyonları blok diyagramı ile modelleme



Şekil 8.30. Kesin çözüm seçeneğini blok diyagramı ile modelleme

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması sonucunda SysML, QFD ve TRIZ'e dayalı yeni nesil, karma ve inovatif bir KT işlem modeli geliştirilmiştir. Burada genel olarak bu üç farklı yöntemi kullanarak KT işlemindeki eksik veya zayıf özellikleri geliştirmek amaçlanmıştır. Bu yöntemlerden ilk olarak TRIZ uygulanmış ve KT'de TRIZ'in etkin kullanılabilirliği basit bir delgeç tasarımı ile gösterilmiştir. Arkasından varyatör ve krikoya ait KT bilgileri SysML diyagramları ile modellenmiş ve KT'de nasıl uygulanabileceği gösterilmiştir. QFD yaklaşımını KT'de tek başına uygulamak yerine TRIZ ve SysML ile birlikte kullanmak uygun görülmüştür. Çünkü QFD daha önceki KT çalışmalarında tasarımcılar tarafından denenmiş ve etkinliği ispatlanmış bir araçtır. Son olarak SysML, QFD ve TRIZ, KT sürecinde birlikte kullanılmıştır. Bu yeni KT işlem modeli ile kapsamlı bir kavramsal tasarım uygulaması yapılmıştır. Örnek olarak ters ozmos gibi ileri su arıtma sistemleri öncesinde kullanılabilecek endüstri amaçlı mekanik bir su filtresi tasarımı seçilmiştir. Bu tasarım uygulamasında:

- QFD ve TRIZ sayesinde kısa sürede daha kaliteli ve patent düzeyli yenilikler içeren çözümlere ulaşılmıştır.
- SysML ile gerekli KT adımları modellenmiş böylece standart tasarım çıktıları oluşturulmuştur. Gelecekte bu tasarım çıktılarıyla XML gibi veri yapılarına dayalı ve BDT uyumlu bir işlem geliştirilebilir.
- Yeni KT işlemi, daha kolay uygulanmış ve SysML sayesinde açık kaynak bir sistem halini almıştır. Bu yönüyle de esnek, müşteri ve tasarımcı merkezli bir özellik kazanmıştır.

Bu inovatif ve karma işlem modelinin geçerliliği ve güvenilirliği, tezin her geliştirme aşamasında farklı tasarım örnekleri yapılarak sağlanmıştır. Ayrıca, kullanılan yöntemler açısından bakıldığında; TRIZ dünya çapında kabul edilmiş ve yaklaşık 2,5 milyon uluslar arası patent bilgisine dayalı bir yöntemdir. Bu sebeple güvenilirliği ve geçerliliği oldukça yüksektir. Benzer şekilde QFD, Japonya'da endüstri çevrelerinde

geliştirilmiş, sonra tüm dünyaya yayılmış ve şirketlerin büyük oranlarda kar sağlamasına katkıda bulunmuş bir yöntemdir. SysML ise UML gibi sağlam ve geçerli bir modelleme diline dayanmaktadır. Tüm bu sebeplerden dolayı kullanılan yöntemler yüksek geçerlilik ve güvenilirliğe sahiptir. Bunların üstün özellikleri KT işleminde sistematik ve rasyonel şekilde birleştirilmiş ve güçlü, yeni nesil, karma bir işlem modeli geliştirilmiştir. Bu modelin akademik ve endüstri çevrelerindeki mekanik ve mekatronik kapsamlı projelerde tasarımcılara önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir.

Yukarıda değinilen olumlu katkılar yanında yeni inovatif KT işlem modeli bilgisayar ile desteklendiğinde daha az hataya sahip çözümler üreten ve daha hızlı olan bir ürün geliştirme aracı geliştirilebilir. Bu yönde çalışacak araştırmacılara aşağıdaki öneriler sunulabilir:

- Yenilikçi KT işlem modellerini yeni bilgi teknolojileri (semantik web, metin ve veri çıkarımı, kaos teori ve gelişim algoritmaları gibi) ile bütünleştirme,
- Yeni bilgi teknolojileriyle bütünleşmiş yenilikçi KT işlem modellerini uygulayan bilgisayar destekli inovasyon (CAI) araçları geliştirme ve
- CAI araçları ve BDT sistemleriyle eşzamanlı ve web tabanlı çalışan ara yüzler geliştirme.

KAYNAKLAR

Akao, Y., ed. "Quality Function Deployment", ***Productivity Press***, Cambridge MA, 11-100 (1990).

Altshuller, G., "And Suddenly the Inventor Appeared: TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving", ***Technical Innovation Center***, Worcester, MA, 1-151 (1996).

Altshuller, G., "TRIZ Keys to Technical Innovation", ***Technical Innovation Center***, Worcester, 7-131 (2005).

Badke-Schaub, P., Daalhuizen, J. and Roozenburg, N., "Towards a Designer-Centred Methodology: Descriptive Considerations and Prescriptive Reflections", In The Future of Design Methodology book (H. Birkhofer (Ed.)), ***Springer***, London, 181-197 (2011).

Balmelli, L., "An Overview of the Systems Modelling Language for Products and Systems Development", ***IBM Technical Report, Tokyo Research Lab, IBM Research Division***, 10-20 (2006).

Barak, M., "Systematic Approaches for Inventive Thinking and Problem-Solving: Implications for Engineering Education", ***Int. J. Engng Ed***., 20 (4): 612-618 (2004).

Birkhofer, H., "The Future of Design Methodology 1st ed.", ***Springer***, London, UK, 1-314 (2011).

Bixio, D., Thoeye, C., De Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T. and Melin, T., "Wastewater reuse in Europe", ***Desalination***, 187 (1–3): 89-101 (2006).

Börklü, H.,R., "Makina Mühendisliğinde Tasarım ve Tasarım İşlem Modelleri", ***Makina Tasarım ve İmalat Dergisi***, 3 (1): 35-41 (1995).

Brimble, R. and Sellini, F., "The MOKA Modelling Language", ***In Proceedings of the 12th European Workshop on Knowledge Acquisition, Modeling and Management (EKAW '00)***, Springer-Verlag, London, UK, 49-56 (2000).

Butdee, S. and Vignat, F., "TRIZ method for light weight bus body structure design", ***Journal of achievements in Materials and Manufacturing Engineering***, 2 (31): 456-462 (2008).

Buzan, T., "The Mindmap Book", ***BBC Books***, London, 24-245 (1993).

Camelo, D., M., Mulet, E., "A multi-relational and interactive model for supporting the design process in the conceptual phase", ***Automation in Construction***, 19 (7): 964–974 (2010).

Cascini, G., Cugini, U., Frillici, F.S. and Rotini, F., "Computer-Aided Conceptual Design Through TRIZ-based Manipulation of Topological Optimizations". ***Proceedings of the 19th CIRP Design Conference – Competitive Design***, 263 (2009).

Chan, J., Fu, K., Schunn, C., Cagan, J., Wood, K., and Kotovsky, K., "On the Benefits and Pitfalls of Analogies for Innovative Design: Ideation Performance Based on Analogical Distance, Commonness, and Modality of Examples", ***ASME Journal Of Mechanical Design (JMD)***, 133 (8): 1-10 (2011).

Chang, X., Sahin, A., Terpenny, J., "An ontology-based support for product conceptual design", ***Robotics and Computer-Integrated Manufacturing***, 24 (6): 755–762 (2008).

Changqing, G., "Creative conceptual design ideas can be gotten with TRIZ methodology", ***TRIZ Journal***, 3: 1-15 (2005).

Chen J. , "The using of mind map in concept design", ***9th International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design***, Wuhan, China, 1034-1037 (2008).

Chik, V., Plimmer, B., and Hosking, John., " Intelligent mind-mapping", ***In Proceedings of the 19th Australasian conference on Computer-Human Interaction: Entertaining User Interfaces (OZCHI '07)***, ACM, New York, NY, USA, 195-198 (2007).

Chong, Y., T., Chen, C.-H., LeongRes, K., F., "A heuristic-based approach to conceptual design", ***Research in Engineering Design***, 20 (2): 97–116 (2009).

Christophe, F., Bernard, A., Coatanéa, É., "RFBS: A model for knowledge representation of conceptual design", ***CIRP Annals - Manufacturing Technology***, 59 (1): 155–158, (2010).

Cross, N., "Developments in Design Methodology", ***Wiley***, Chichester, 1-300 (1984).

Cross, N., "Engineering Design Methods: Strategies for Product Design (fourth edition), ***John Wiley and Sons Ltd***., Chichester, 29-41 (2008).

Ćurko, J., Mijatović, I., Matošić, M., Jakopović, H. K. and Bošnjak, M. U., "As(V) removal from drinking water by coagulation and filtration through immersed membrane", ***Desalination***, 279 (1–3): 404-408 (2011).

Deng, Y.-M., Zhu, Y.-W., "Function to structure/material mappings for conceptual design synthesis and their supportive strategies", ***The International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, 44:1063–1072, (2009).

Domb, E., Terninko, J., Miller, J. and MacGran, E., "The Seventy-Six Standard Solutions: How They Relate to the 40 Principles of Inventive Problem Solving", ***TRIZ Journal***, 5: 1-2 (1999).

Eggermont, M., Brennan, R., Freiheit, T., "Improving A Capstone Design Course Through Mindmapping", ***Advances in Engineering Education***, 2(1):1-26 (2010).

Fenves, S., "A Core Product Model For Representing Design Information", ***National Institute of Standards and Technology, NISTIR6736 , Gaithersburg, MD 20899***, USA, 1-10 (2002).

Fenves, S., Foufou, S., Bock, C., Bouillon, N., Sudarsan, R., and Sriram, R. D., "CPM2: A Revised Core Product Model for Representing Design Information ", ***National Institute of Standards and Technology, NISTIR 7185, Gaithersburg, MD 20899***, USA, 1-15 (2005).

Foufou, S., Fenves, S., Bock, C., Sudarsan, R., and Sriram, R. D., "A Core Product Model for PLM with an illustrative XML implementation", ***National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899***, USA, 1-20 (2005).

French, M. J., "Conceptual Design for Engineers", ***The Design Council***, London, 10-200 (1985).

Goel, A.K., Vattam, S., Wiltgen, B., and Helms, M., "Cognitive, collaborative, conceptual and creative — Four characteristics of the next generation of knowledge-based CAD systems: A study in biologically inspired design", ***Computer-Aided Design, 44***:879-900 (2012).

Gordon, W. J. J., "Synectics: The Development of Creative Capacity", ***Joanna Cotler Books***, 20-170 (1961).

He, B. and Feng, P., "Research on collaborative conceptual design based on distributed knowledge resource", ***The International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, 66 (5-8): 645-662 (2013).

Hirtz, J., Stone, R., McAdams, D., Szykman, S. and Wood, K., "A Functional Basis for Engineering Design: Reconciling and Evolving Previous Efforts", ***Research in Engineering Design***, 13 (2): 65-82 (2002).

Horowitz, R., "Creative Problem Solving In Engineering Design", Doctoral Thesis, ***Tel-Aviv University***, Israel, 52-54, (1999).

Huang, H., Cho, H., Schwab, K. and Jacangelo, J. G., "Effects of feedwater pretreatment on the removal of organic microconstituents by a low fouling reverse osmosis membrane", ***Desalination***, 281 (17): 446-454 (2011).

Hubka, V., "Theorie der Maschinensysteme", ***Springer***, Berlin/Heidelberg, 6-117 (1974).

İnternet : AMIAD, "Self-Cleanıng Pre-Fıltratıon For R.O. Membrane Systems", http://www.amiad.com/articlesDownload.asp (2012).

İnternet : AMTA, "Nanofiltration and Reverse Osmosis (NF/RO)" http://www.amtaorg.com/publications-communications/membrane-technology-fact-sheets/ (2012).

İnternet : AudiWorld, "Audi multitronic transmission", "http://www.audiworld.com/news/99/multitronic/AT990021.jpg" (1999).

İnternet : Filternox, "PHF- General Techinical Specifications", http://www.filternox.com/Download/Katalog/pfh.pdf (2012).

İnternet : INSA, "Advanced Master in Innovative Design", http://www2.insa-strasbourg.fr/triz/doc/M4_2006dc-01.pdf (2006).

İnternet : IPKM, "MOKA KA application", http://kpkm.polsl.pl/PROJEKTY/KBE/moka_ka/moka_ka_en.html (2007).

İnternet : VAF, "V-Series Automatic Screen Filters", http://www.valveandfilter.com/vseries-filters.htm (2012).

İnternet: OMG, "Unified Modelling Language", http://www.uml.org/, (2011).

İnternet: OMGSysML, "System Modelling Language", http://www.omgsysml.org/, (2011).

İnternet: Skarka, W., Urbanek, G., (Silesian University of Technology), "MOKA KA application", http://kpkm.polsl.pl/PROJEKTY/KBE/moka_ka/moka_ka_en.html, (2007).

Kim, E.-S., Liu, Y. and El-Din, M. G., "The effects of pretreatment on nanofiltration and reverse osmosis membrane filtration for desalination of oil sands process-affected water", ***Separation and Purification Technology***, 81 (3): 418-428 (2011).

Kim, I., "40 Principles as a Problem Finder", ***TRIZ Journal***, 4: 1-6 (2005).

Kokotovich, V., "Problem Analysis and Thinking Tools: An Empirical Study of Non-Hierarchical Mind Mapping", ***Design Studies***, 29: 49-69 (2008).

Koziolek, S. and Arciszewski, T., "Synectical Building of Representation Space: A Key to Computing Education", ***Computing in Civil Engineering***, 891-898 (2011).

Krish, S., “A practical generative design method”, ***Computer-Aided Design***, (43): 88–100 (2011).

Kurtoğlu, T., Swantner A., Campbell, M. I., “Automating the Conceptual Design Process: From Black-box to Component Selection”, ***Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing***, 24: 49-62 (2010a).

Kurtoğlu, T. , Tumer, I., Y., and Jensen, D., C., “A functional failure reasoning methodology for evaluation of conceptual system architectures”, ***Research in Engineering Design***, 21(4): 209-234, (2010b).

Lee, J. J., Johir, M. A. H., Chinu, K. H., Shon, H. K., Vigneswaran, S., Kandasamy, J., Kim, C.W. and Shaw, K., “Hybrid filtration method for pre-treatment of seawater reverse osmosis (SWRO)”, ***Desalination***, 247 (1–3): 15-24 (2009).

Li, W., Li, Y., Wang, J., Liu, X., “The process model to aid innovation of products conceptual design”, ***Expert Systems with Applications***, 37: 3574–3587, (2010).

Lin, C.C., Shih , D.H., "Mind Mapping : A Creative Development in Industrial Engineering Education", ***5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCom '09***, 1-4, (2009).

Lorein, O., Hersant, B., Persin, F., Grasmick, A., Brunard, N. and Espenan, J. M., “Ultrafiltration membrane pre-treatment benefits for reverse osmosis process in seawater desalting. Quantification in terms of capital investment cost and operating cost reduction”, ***Desalination***, 203 (1–3): 277-285 (2007).

Malak, R., Aughenbaugh J., M., Paredis C., “Multi-attribute utility analysis in set-based conceptual design”, ***Computer-Aided Design***, 41, 214-227 (2009).

Malekly, H., Meysam Mousavi, S., Hashemi, H., “A fuzzy integrated methodology for evaluating conceptual bridge design”, ***Expert Systems with Applications***, 37(7): 4910-4920 (2010).

Mcallister, S., “Analysis And Comparison Of Sustainable Water Filters”, ***EPD 397***, 8-9 (2005).

Mizuno, S., Akao, Y., “QFD: The Customer-driven Approach to Quality Planning & Deployment”, ***Asian Productivity Organization***, Tokyo, (1993).

Nakagawa, T., “Creative Problem-Solving Methodologies TRIZ/USIT: Overview of My 14 Years in Research, Education, and Promotion”, ***The Bulletin of the Cultural and Natural Sciences, Osaka Gakuin University***, 64: 1-5 (2012).

Orloff, M. A., “Inventive thinking through TRIZ: a practical guide 2nd ed.”, ***Springer-Verlag***, Berlin, 1-340 (2006).

Ölvander, J., Lundén, B., Gavel, H., "A computerized optimization framework for the morphological matrix applied to aircraft conceptual design", ***Computer-Aided Design***, 41: 187-196 (2009).

Pahl, G. and Beitz, W., "*Konstruktionslehre",* 1st ed., ***Springer-Verlag***, Berlin/Heidelberg, 15-250 (1977).

Pahl., G., Beitz, W., Feldhusen, J. and Grote, K.H., "Engineering Design – A Systematic Approach", Third Edition, Translated and Edited by Wallace, K., Blessing, L. ***Springer-Verlag London Limited***, London, 10-420 (2007).

Qi, L., Wang, X. and Xu, Q., "Coupling of biological methods with membrane filtration using ozone as pre-treatment for water reuse", ***Desalination***, 270 (1–3): 264-268 (2011).

Rantanen, K. and Domb, E., "Simplified TRIZ : new problem-solving applications for engineers & manufacturing professionals", ***CRC Press***, USA, 7-8 (2002).

Reungoat, J., Macova, M., Escher, B.I., Carswell, S., Mueller, J.F. and Keller, J., "Removal of micropollutants and reduction of biological activity in a full scale reclamation plant using ozonation and activated carbon filtration", ***Water Research***, 44 (2): 625-637 (2010).

Roth, K., Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. ***Springer***, Berlin, 12-230 (1982).

Salah F., Abdalla, H., "A knowledge-based system for enhancing conceptual design", ***Int. J. Computer Applications in Technology***, 40(1): 23-36 (2011).

Samsunlu, A., "Atıksuların Arıtılması", ***Birsen Yayın Evi***, Istanbul, 1-647 (2006).

Shea, K., Wölkl, S., "A computational product model for conceptual design using SysML", ***International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference***, IDETC/CIE 2009 (ASME), September, USA, 2-15 (2009).

Shi, D., and Liu, R., "Function-Solution-Findings-Model of the Conceptual Design Based on knowledge Ontology", ***In Proceedings of the 10th international conference on Computer supported cooperative work in design III (CSCWD'06)***, Berlin, 579–588 (2007).

Shin, J.-H., Jun, H.-B., Kiritsis, D., Xirouchakis, P., "A decision support method for product conceptual design considering product lifecycle factors and resource constraints", ***The International Journal of Advanced Manufacturing Technology***, 52 (9-12):865-886 (2011).

Skarka, W., "Application of MOKA methodology in generative model creation using CATIA", ***Engineering Applications of Artificial Intelligence***, 20(5): 677–690 (2007).

Spinella, I., Scire Mammano, G. and Dragoni, E., "Conceptual Design and Simulation of a Compact Shape Memory Actuator for Rotary Motion", ***Journal of Materials Engineering and Performance***, 18: 5–6 (2009).

Sutherland, K., "Filters and Filtration Handbook", ***Elsevier/Butterworth-Heinemann***, Oxford, UK, 97-201 (2008).

Tan, R., Ma, J., Liu, F. and Wei, Z., "UXDs-driven conceptual design process model for contradiction solving using CAIs", ***Computers in Industry***, 60: 584–591 (2009).

Tang, H. H., Chen, Y. L. and Gero, J. S., "The Influence of Design Methods on the Design Process: Effect of Use of Scenario, Brainstorming, and Synectics on Designing", ***DRS 2012 Bangkok Proceedings***, Thailand, 1-15 (2012).

Terninko, J., "Su-Field Analysis", ***TRIZ Journal***, 4: 1-12 (2000).

Thakker, A., Jarvis, J., Buggy, M. and Sahed, A.,"3DCAD conceptual design of the next-generation impulse turbine using the Pugh decision-matrix", ***Materials and Design***, 30: 2676–2684 (2009).

Tomiyama, T., Gu, P., Jin, Y., Lutters, D., Kind, C. and Kimura, F., "Design methodologies: Industrial and educational applications", ***CIRP Annals - Manufacturing Technology***, 58 (2): 543-565 (2009).

Uflacker M. and Zeier, A., "A semantic network approach to analyzing virtual team interactions in the early stages of conceptual design", ***Future Generation Computer Systems***, 27: 88-99 (2011).

Ullman, D. G., "The Mechanical Design Process", ***McGraw-Hill***, New York, 67-85 (2002).

VDI, "Systematic Approach to the Development and Design of Technical Systems and Products", Beuth Verlag, ***VDI-Guideline 2221***, Berlin, 1-44 (1993).

Walsh, M.E. and Gagnon, G.A., "Evaluating Membrane Processes for Drinking Water Treatment Design", ***AEESP Case Studies Compilation***, 69-82 (2006).

Weber, C. and Birkhofer, H., "Today's Requirements on Engineering Design Science", ***Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED 07)***, 785-786 (2007).

Weissman, A., Gupta, S.K., Fiorentini, X., Sudarsan, R., and Sriram R. D., "Formal Representation of Product Design Specifications for Validating Product Designs", ***National Institute of Standards and Technology***, ***NISTIR 7626***, ***USA***, 1-29 (2009).

Wilhelms, S., "Function- and constraint-based conceptual design support using easily exchangeable, reusable principle solution elements", ***Artificial Intelligence for Engineering Design***, ***Analysis and Manufacturing***, 19: 201–219 (2005).

Woldemichael, D., E. and Hashim, F., M., "Development of Conceptual Design Support Tool for Subsea Process Equipment Design***", International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME***, 9 (10): 12-17 (2009).

Xu, C., "Computational Foundations for Computer Aided Conceptual Design of Multiple Interaction-State Mechatronic Devices", Doktora Tezi, ***University of Maryland***, 1-201 (2005).

Zhang, Z. and Chu, X., "A new approach for conceptual design of product and maintenance", ***International Journal of Computer Integrated Manufacturing***, 23 (7): 603-618 (2010).

EKLER

EK-1. SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko

Mühendislik tasarım faaliyetleri, teknoloji ve bilimin ilerlemesiyle oldukça karmaşık ve çok disiplinli bir süreç halini almıştır. Bu nedenle, modern mühendislik tasarım yaklaşımları, müşterek, disiplinlinler arası, eşzamanlı ve mekân-bağımsız (farklı ortamlarda) yürütülebilecek tasarım çerçeveleri geliştirme üzerine inşa edilmeye başlanmıştır. Bu tür tasarım çerçeveleri geliştirmenin en temel kuralı, farklı disiplinleri aynı sistem üzerinde birleştirebilmektir. Bunun için de ortak bir tasarım temsil dili geliştirme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla birçok yeni nesil sistem tasarım/temsil dili ortaya çıkmıştır. Bunların en başında UMLve SysML gelmektedir (UML ve SysML hakkında 7. Bölümde detaylı bilgi verildiğinden dolayı burada ayrıntıya girilmeyecektir).

Bu bölümde kriko tasarımı, SysML diyagramları ile nasıl modellendiği gösterilecektir. Kriko sistemi modellenirken toplamda dokuz çeşit SysML diyagram türünden faydalanılmıştır. Bunlar:

- Paket diyagramlar
- Kullanım senaryo diyagramı
- Sıralama diyagramları
- Durum çalışma diyagramı
- İhtiyaç diyagramı
- Blok tanım diyagramı
- İç blok diyagramı
- Parametrik diyagram
- Faaliyet diyagram

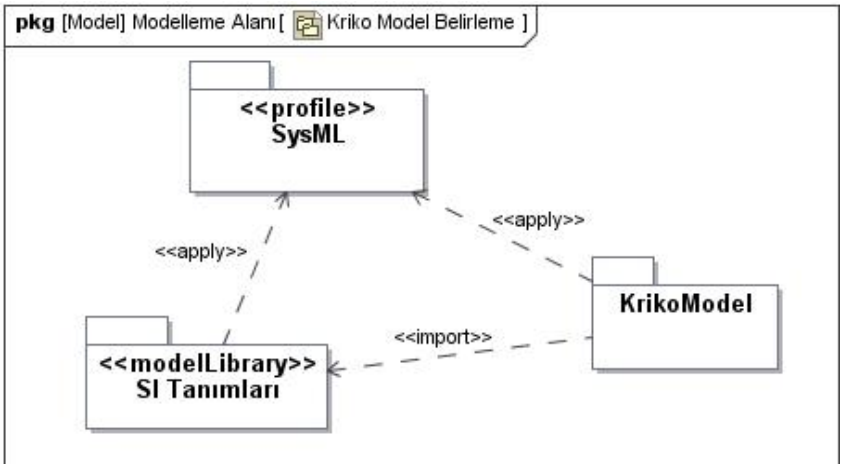
Yukarıdaki diyagramların her biri belirli bir amaca yönelik olup sistem tasarım ve uygulamalarında diyagram türü içeriğine göre seçilir ve kullanılır. Bu diyagramlar birbirinden tam bağımsız olmayıp birçok uygulamada bütünleşik olarak da kullanılabilmektedir.

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko

Modellemede yazılım dili İngilizce olan Visual Paradigm ve MagicDraw UML, modelleme araçları (yazılımı) kullanılmıştır.

1.1. Paket Diyagramlar (Package Diagrams)

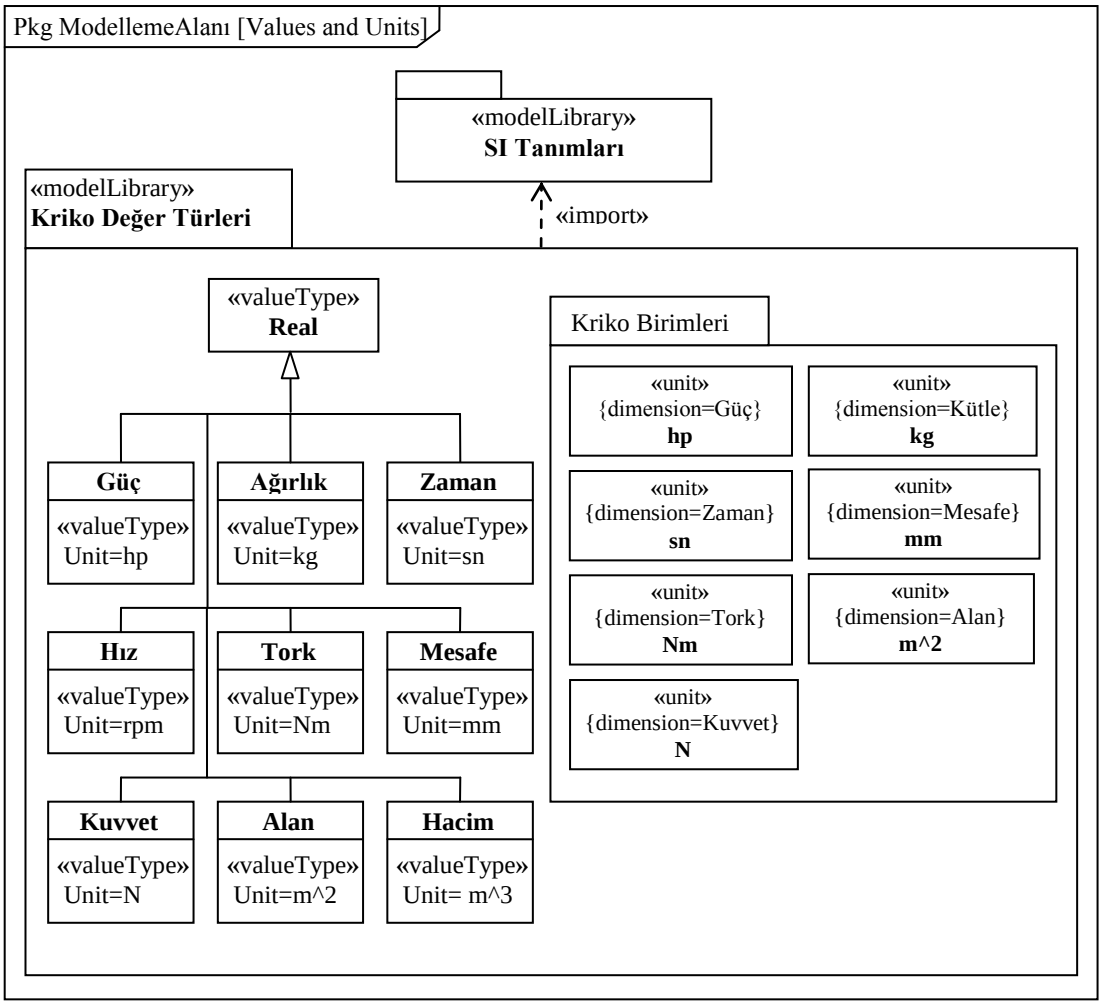
Paket diyagram, yapısal diyagramdır ve modellenen sisteme belli bir açıdan bakışı gösterir. Gösterim genel olarak paketler, paket birleşmeleri, paket dahil etme ("package import") ve bağımlılık ilişkilerini içerir. Şekil 1.1'de verilen paket diyagramında; kriko sisteminde kullanılacak olan birimlerin, Standart Birim (SI) kütüphanesine aktarılması ve "Kriko Model" yapısının SysML profiline uygulanması gösterilmektedir. Burada SI kütüphanesi, kriko modeli ve SysML profili arasında üst seviyeli paket ilişkileri belirtilmektedir.



Şekil 1.1. Krikoya ait "Kullanıcı Model" yapısını paket diyagramda gösterme

Şekil 1.2, kriko tasarımının mühendislik analiz aşamasında kullanılacak birim ve değer türlerini içeren bir paket diyagramını göstermektedir.

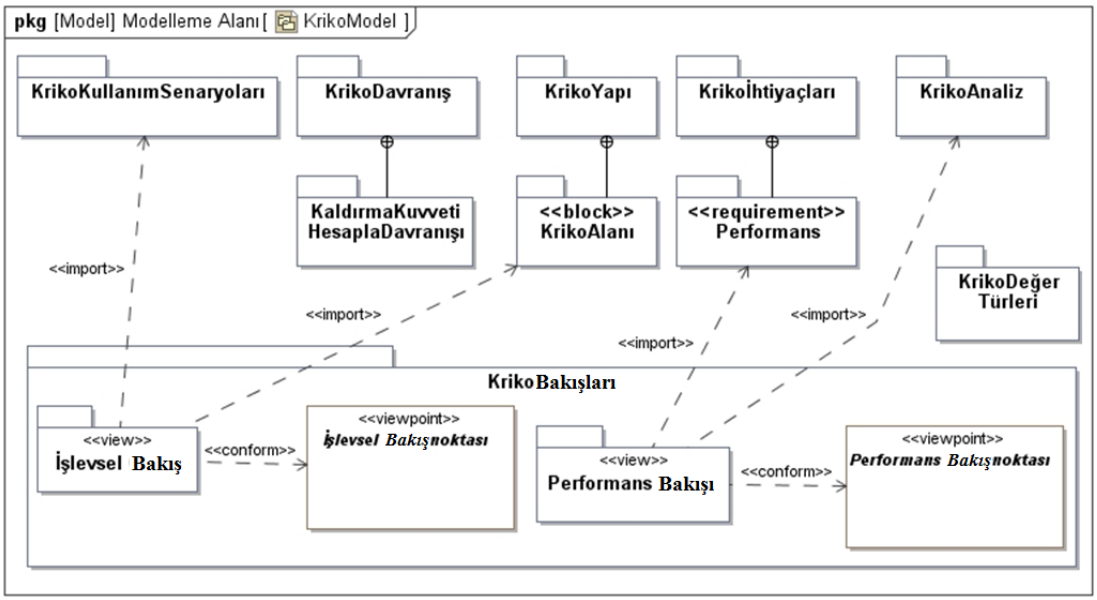
EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko



Şekil 1.2. Örnek sistemde kullanılacak değer türleri ve birimleri

Yapı diyagramına diğer bir örnek olarak Şekil 1.3'deki paket diyagram verilebilir. Bu diyagram, krikoyu değerlendirmede kullanılacak model yapısını gösterir. Burada «view» ile belirtilen "işlevsel bakış" paketi, "İşlevsel bakış açısı" içindeki istek ve düşünceleri sağlamalı ve "kriko alanı" bloğu içinde yer almalıdır. Diğer paketler de aynı şekilde ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak paket diyagram, tasarlanacak sistemin yapı, davranış, ihtiyaçlar ve analizini birlikte ilişkilendiren ve gösteren bir oluşumdur.

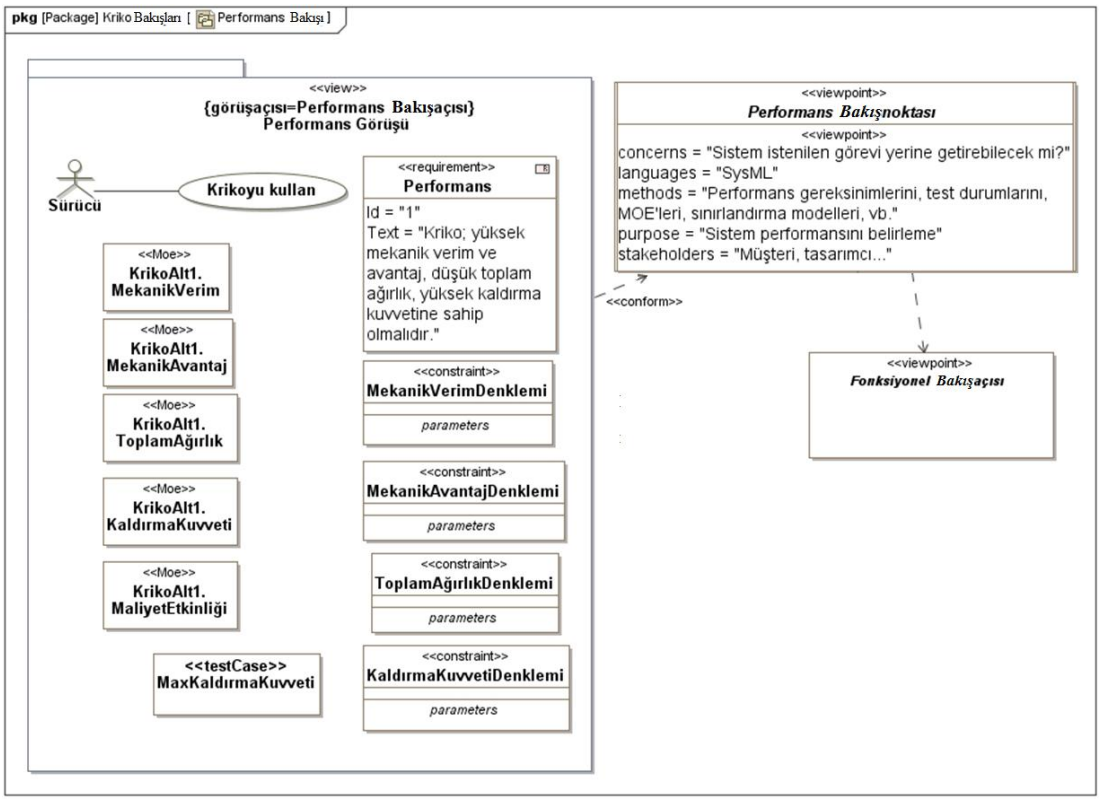
EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko



Şekil 1.3. "Paketler" ve "Bakışlar" ile "Kullanıcı Model" yapısını oluşturma

Şekil 1.4 ise, "Performans Bakışnoktası" paketi içinde yer alan şartname bilgilerini (concern, languages…) yerine getirecek olan "Performans Bakış" paketi oluşturmayı içerir. "Performans Bakışnoktası" paketi müşteri, tasarımcı gibi katılımcılardan alınan ön bilgileri ve yöntemleri içerir. "Performans Bakış" paketi ise alınan bu ön şartname bilgilerinin nasıl uygulanacağını ortaya koyan denklemlerin (sınırlandırmalar, etkinlik ölçüleri) belirlenmesini içermektedir.

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko



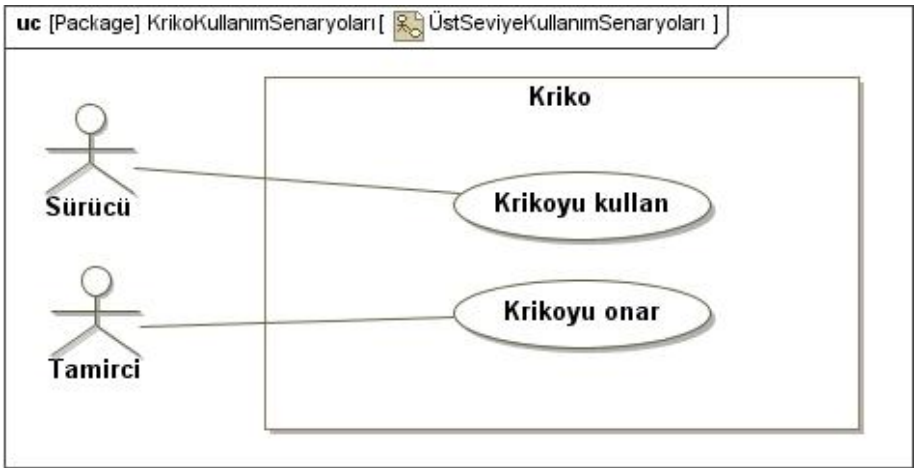
Şekil 1.4. Kriko için performans bakışı kullanıcı modeli oluşturma

1.2. Kullanım Senaryo Diyagramı (Use Case Diagrams)

Kullanım senaryo diyagramı, bir sistemden beklenen belirli bir davranışı temsil eder ve genellikle sistemden beklenen gereksinimlerin tespit edilmesi amacıyla kullanılır. Kullanım senaryosu diyagramında tipik olarak kullanım senaryoları ve bağımlılıkları ve bunların ilişkileri ile aktörler gösterilir. Kullanım Senaryo diyagramları, sistemin nasıl kullanılacağını tarif eden bir yöntemdir. Kullanım Senaryo ilişkileri: «communication», «include», «extend» ve «generalization» şeklindedir. «include» ilişkisi, çoklu kullanım senaryoları arasında paylaşılan ortak fonksiyonellik için bir mekanizma sunar ve her zaman esas kullanım senaryosunun bir parçası olarak kabul edilir. «extend» ilişkisi, belirli şartlar altında esas kullanım senaryosunu genişletir, opsiyonel fonksiyonellik sağlar. «generalization» ilişkisi, esas kullanım senaryosunun varyantlarını belirleyecek bir mekanizma sunar.

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko

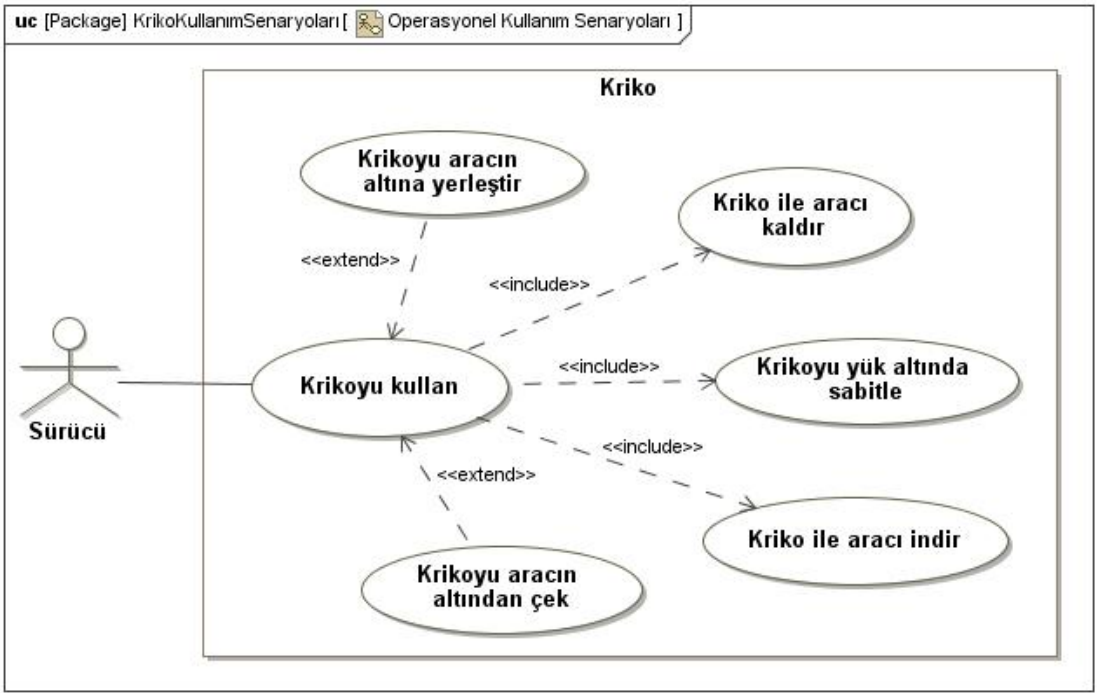
Şekil 1.5'te kriko ile aktörler arasındaki üst seviye kullanım senaryoları gösterilmiştir. Burada kriko sistemini doğrudan etkileyen iki aktör vardır. Bunlar sürücü ve tamircidir. Her iki aktör de krikoyu belirli amaçlarla farklı zamanlarda kullanabilmektedir. Kullanım senaryosu olarak iki farklı senaryo vardır. Bunlar ise krikoyu kullanmak ve onarmaktır. Kısaca; tasarlanacak sistem, kullanım ve davranışsal olarak çeşitli düzeylerde incelenebilir. Böylece bu kullanım senaryoları, tasarım sürecinde ileride belirlenecek fonksiyon yapılarına bir zemin oluşturabilecektir. Bunun yanında tasarlanacak sistemi çeşitli açılardan inceleme imkânı ile tasarım ve sistem mühendislerine ürün geliştirme süreçlerinde büyük destek sunacaktır.



Şekil 1.5. Kriko için "Üst Seviye Kullanım Senaryosu" oluşturma

Kullanım senaryoları daha alt düzeylerde de incelenebilmektedir. Örneğin Şekil 1.6'da verilen bir kullanım senaryo diyagramında sürücü ile kriko arasında gerçekleşen "Krikoyu kullan" senaryosu işlevsel olarak daha detaylı incelenmiştir. Burada bir aracın kaldırılabilmesi için gerekli kullanım adımları senaryolar halinde verilmiştir. Bu senaryolar, ≪include≫ ve ≪extend≫ stereotiplerine göre sınıflandırılmıştır. ≪include≫ stereotipli kullanım senaryoları, birbirine bağımlı ve ardışık senaryo gruplarında kullanılmaktadır. ≪extend≫ stereotipli kullanım senaryoları ise ardışık olmayan ve tek kullanımlı durumlarda tercih edilmektedir.

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko

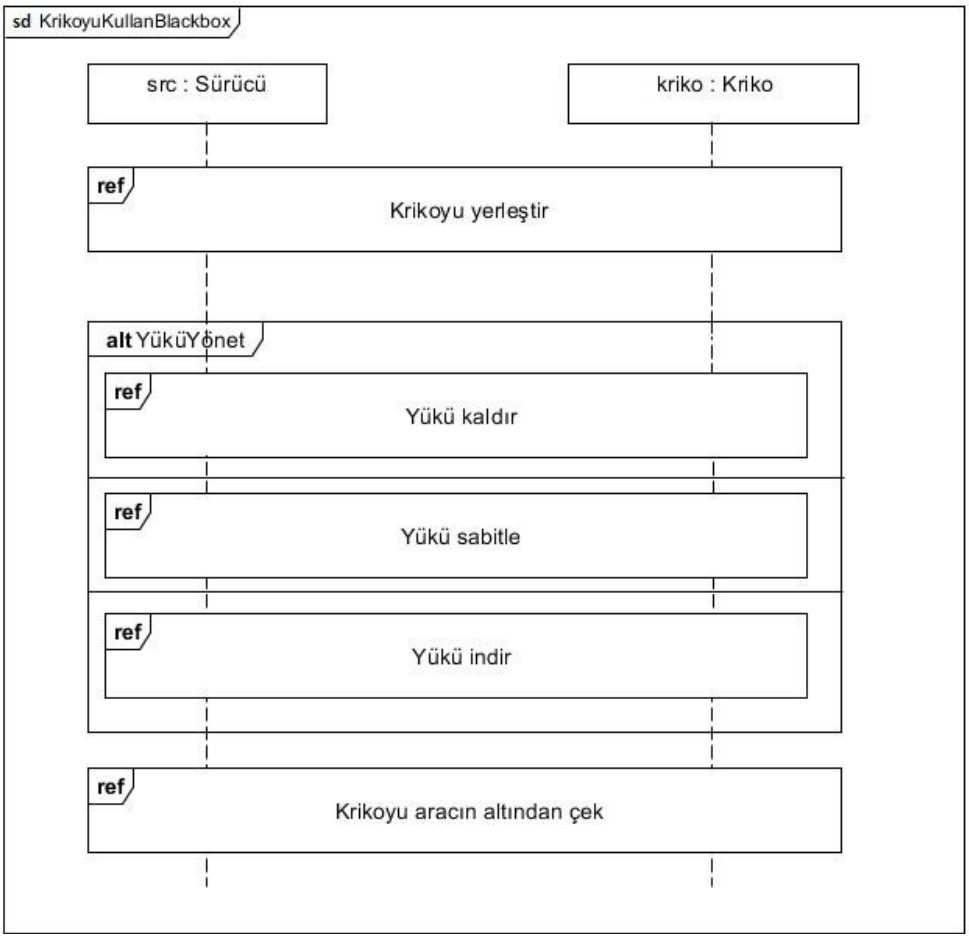


Şekil 1.6. Düşük çıkarım düzeyindeki "Krikoyu kullan" kullanım senaryosu

1.3. Sıralama Diyagramları

Sıralama diyagramı, etkileşim diyagramlarından en yaygın kullanılanıdır. Bu diyagramı, aktörler ile sistemler (bloklar) veya sistem parçaları arasındaki akış kontrolünü tanımlamaktadır. Bu diyagramlar, düşey eksen boyunca ilerleyen zamana göre, ömür çizgileri adı verilen elemanlar arasında mesajların gönderilmesini ve alınmasını temsil eder. Ayrıca diğer sıralama diyagramlarındaki referans etkileşimleri ve çeşitli mantık kontrollerini ifade eden özel yapıda karmaşık etkileşimleri temsil edebilir. Basit bir sıralama diyagramı Şekil 1.7'de verilmiştir. Bu diyagram "Krikoyu kullan" kullanım senayosu için Blackbox davranışının detaylandırılmasını içermektedir. Burada "Sürücü" aktörü ile "Kriko" bloğu arasındaki etkileşimler üsten başlayarak işin yapılma sırasına göre verilmiştir. Örneğin "Sürücü" önce krikoyu aracın altına yerleştirir, sonra yükü kaldırma, sabitleme ve indirme hareketlerini amacına göre gerçekleştirir. Son faaliyet olarak kriko aracın altından çıkarılır.

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko

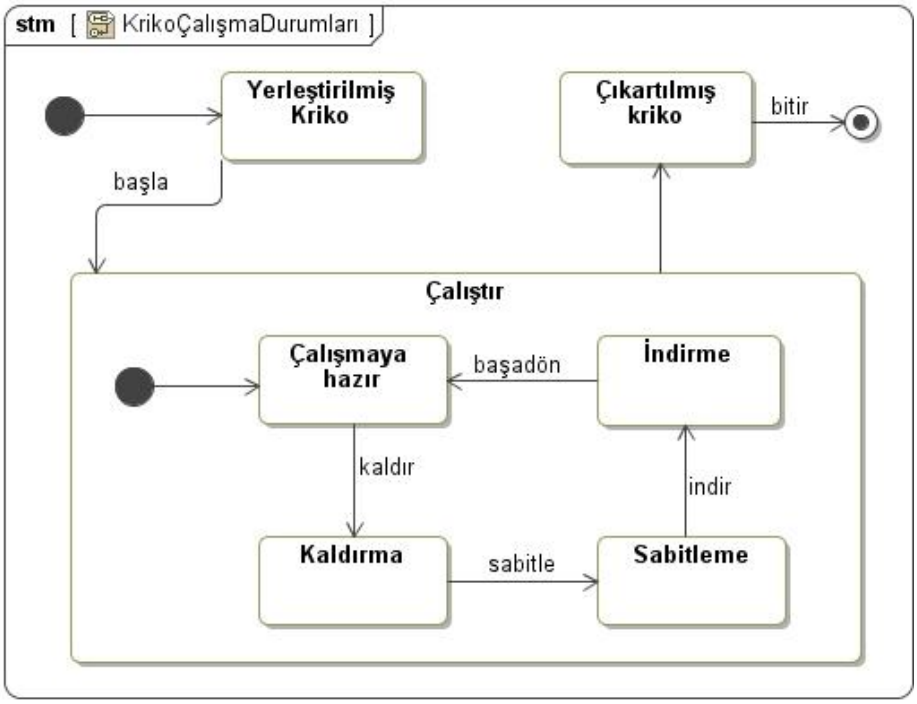


Şekil 1.7. "Krikoyu kullan" kullanım senaryosunu detaylandırma

1.4. Durum Çalışma Diyagramları

Durum çalışma paketi, sonlu durum geçiş sistemleri sayesinde aralıklı davranış modellemede kullanılan kavramlar kümesini tanımlar. Dildeki karmaşıklığı azaltmak amacıyla UML'deki protokol durum çalışma kavramı SysML'den çıkarılmıştır. Şekil 1.8'de krikonun çalışma durumları verilmiştir. Kriko temel olarak beş çalışma durumunda kullanılmaktadır. Bu çalışma durumları sırayla şöyle ifade edilebilir; kriko kullanılmak üzere aracın altına yerleştirilmeli (çalışmaya hazır olma durumu), araç kaldırılmalı (kaldırma durumu), krikonun kaldırma yüksekliği korunmalı/sabitlenmeli (sabitleme durumu), kaldırılmış araç güvenli indirilmeli (indirme durumu) ve kriko aracın altından çıkarılmalı (krikonun çıkartılma durumu).

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko



Şekil 1.8. Krikonun çalışma durumları

1.5. İhtiyaç Diyagramı

İhtiyaç, yerine getirilmesi gereken koşul ya da yeteneği belirtir. Diğer bir ifade ile ihtiyaç; bir sistemin başarması gereken performans koşulu veya sistemin yerine getirmesi gereken bir fonksiyonu belirtebilir. Yeni bir SysML diyagram tipi olan ihtiyaç diyagramı; sadece ihtiyaçları, paketleri, diğer sınıflandırıcıları, test durumlarını ve temelleri gösterebilir. Ayrıca bu diyagram türü, ihtiyaçlar ve bunları karşılayan diğer model elemanları arasındaki ilişkileri ve metin tabanlı ihtiyaçlar için bir yapı modellemeyi sağlamaktadır. SysML, modelleyiciye; ihtiyaçların diğer ihtiyaçlarla ve diğer modelleme elemanlarıyla ilişkilendirilebilmesi için pek çok ihtiyaç ilişkisi tanımlamıştır. Bunlar: ihtiyaç hiyerarşisi, ihtiyaç çıkarımı, ihtiyaç karşılama, ihtiyaç doğrulama ve ihtiyaç iyileştirme ilişkileridir.

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko

İhtiyaçların yeniden kullanımı pek çok uygulamada çok önemli olduğundan dolayı SysML, bağlı ihtiyaç (slave requierement) kavramını ortaya koymuştur. "ihtiyaç çıkarımı" ilişkisi, bunun esas (ana) kaynağından türetilmiş bir ihtiyaç ile ilgilidir. Burada, esas ihtiyacı destekleyen çoklu türetilmiş ihtiyaçları belirlemek için analiz gerekmektedir. Türetilmiş ihtiyaçlar genellikle sistem hiyerarşisinin (ihtiyaç hiyerarşisi) bir sonraki düzeyindeki ihtiyaçlara cevap vermektedir.

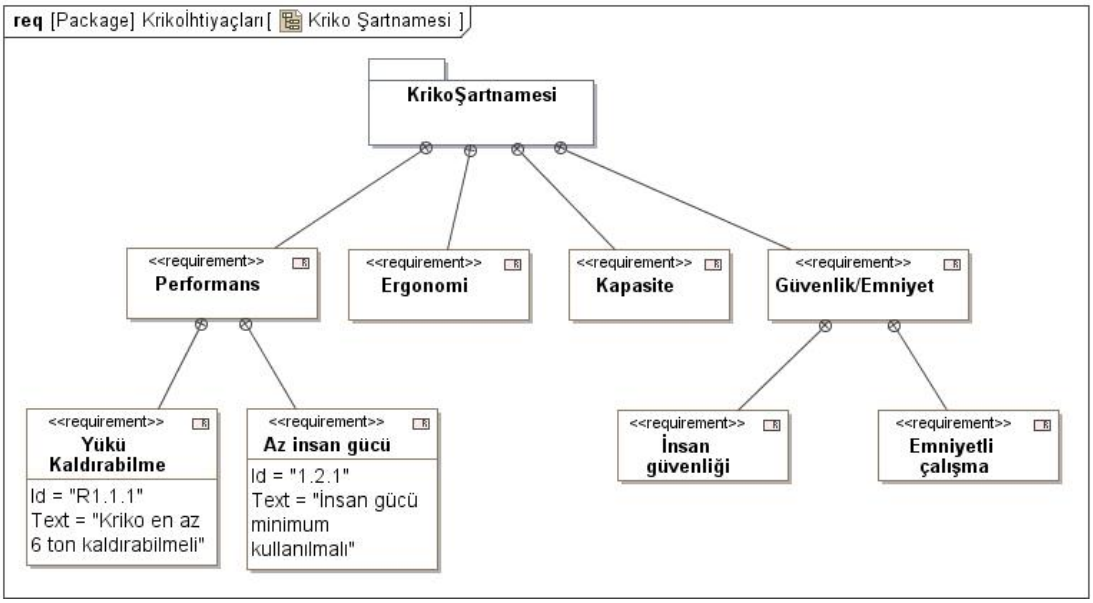
"İhtiyaç karşılama" ilişkisi, bir tasarımın veya uygulama modelinin bir veya daha fazla ihtiyacı nasıl karşılayacağını tasvir eder. Bir sistem modelleyici, ihtiyacı karşılayan sistem tasarım elemanlarını belirler.

"İhtiyaç doğrulama" ilişkisi, bir test durumunun veya diğer model elemanının nasıl bir doğrulama yapacağını tanımlar. SysML'de "test durumu" veya farklı isimlendirilmiş diğer bir eleman; denetim, analiz, ispat veya test için herhangi bir standart doğrulama yöntemin temsil eden genel bir mekanizma olarak kullanılabilir.

"İhtiyaç iyileştirme" ilişkisi; bir model elemanı veya elemanlar kümesinin, bir ihtiyacı daha fazla iyileştirmek için nasıl kullanılabileceğini tasvir etmede kullanılabilir. Örneğin; bir kullanım senaryosu veya faaliyet diyagramı, metin tabanlı fonksiyonel bir ihtiyacı iyileştirmede kullanılabilir.

Şekil 1.9, kriko şartnamesindeki en düşük düzeyli ihtiyaçlardan elde edilen ihtiyaçlar kümesini gösterir. Buradaki kompleks ihtiyaçlar (üst seviyeli ihtiyaçlar) daha basit ve tek ihtiyaçlara ayrıştırılmaktadır. Gerektiğinde ihtiyaçlar id numarası ve metin açıklaması ile birlikte verilebilir. Örneğin yukarıdaki şekilde "Yükü kaldırma" ve "az insan gücü" gibi önemli bazı ihtiyaçların id numarası ve metinsel içeriği belirtilerek vurgulanmıştır.

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko

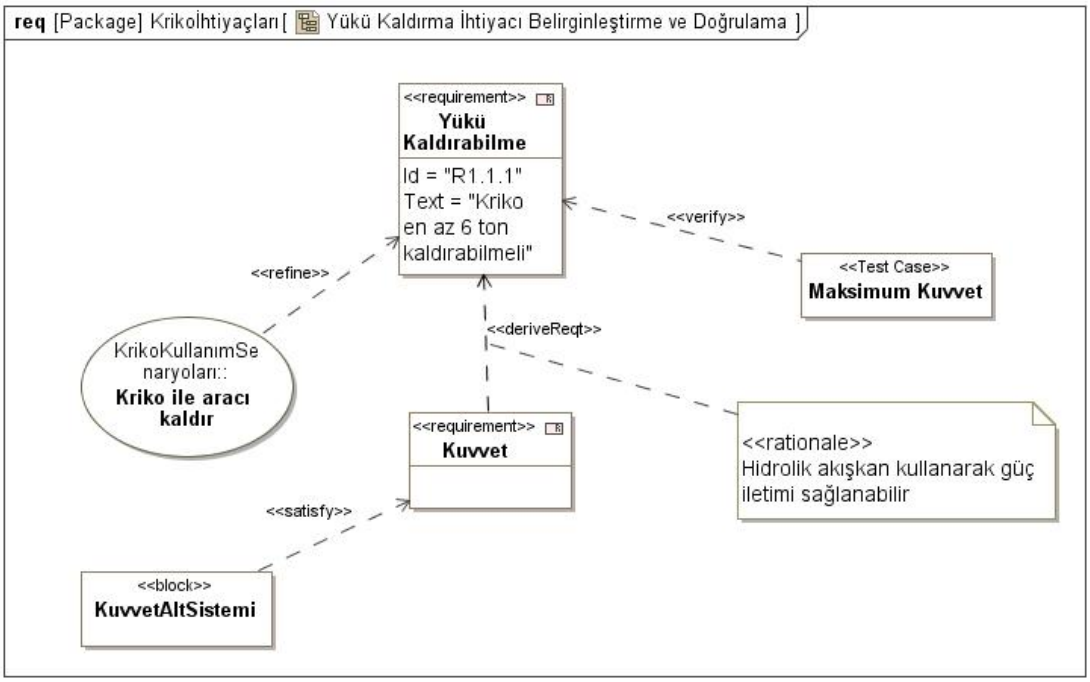


Şekil 1.9. Kriko ihtiyaçlar hiyerarşisi oluşturma

Şekil 1.10, "Yükü kaldırabilme" ihtiyacının diğer ihtiyaçlar ve model elemanlarıyla olan ilişkilerini göstermektedir. Bu ilişkiler şöyle açıklanabilir; "Kuvvet" ihtiyacı, "Yükü kaldırabilme" ihtiyacından türetilmiş ve böylece daha somut ve nicel hale gelmiştir. Diğer yandan "Kuvvet" ihtiyacını "KuvvetAltSistemi" bloğu sağlar.

"Yükü kaldırabilme" ihtiyacı, "Maksimum Kuvvet" test durumu tarafından doğrulanır. "Aracı Kaldır" kullanım senaryosu ise "Yükü Kaldırabilme" ihtiyacını belirgin hale getirir. Ayrıca "Kuvvet" ihtiyacına bir mantıksal çözüm önerisi getirilmiştir. Bu öneri, ≪ rational ≫ model elemanı ile belirtilmiştir. Özet olarak; ihtiyaçlar, kullanım senaryoları, bloklar ve test durumları arasında gerekli bağlantıların bir ihtiyaç diyagramında nasıl kurulduğu gösterilmiştir. Bu bağlantılar, çizelge formatında da verilebilmektedir.

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko



Şekil 1.10. "Yükü kaldırabilme" ihtiyaç ilişkileri

1.6. Blok Tanım ve İç Blok Diyagramı

Bloklar, sistem tanımının modüler birimleridir. Her blok, bir sistemi veya diğer elemanları tasvir eden unsurların toplamını belirtir. Bunlar, özellikler ve işlevler gibi sistemin göstermesi gereken davranışı ve durumu temsil eden hem yapısal hem de davranışsal unsurları kapsayabilir.

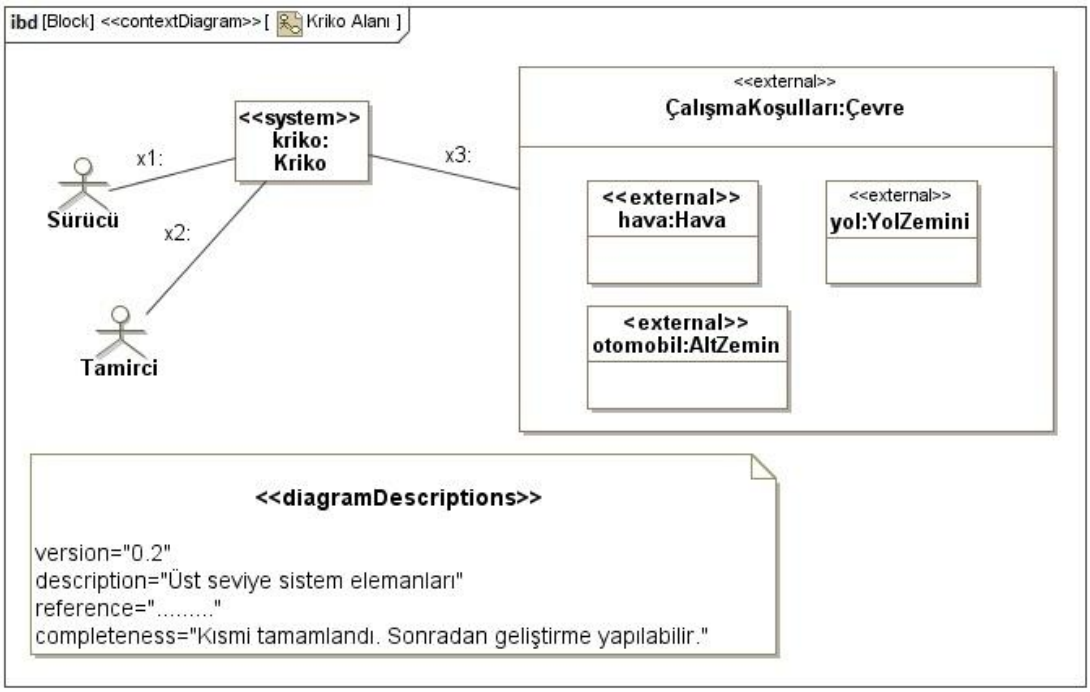
Bloklar, modüler bileşenler olarak sistemleri, modellemek için genel amaçlı bir yetenek sağlar. SysML blokları, sistem şartnamesinden başlayarak tasarımın bütün aşamalarında kullanılabilir ve birçok farklı sistem türüne uygulanabilir. Bunlar bir sistemin hem mantıksal hem de fiziksel analizini ve yazılım, donanım veya insan faktörlerini içeren şartnameleri modellemeyi kapsar. Bloklar, ayrıca bir sistemin davranışını tasvir eden diğer unsurları veya operasyonları belirleyebilir.

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko

SysML'deki Blok Tanım diyagramı, blokların unsurlarını ve örneğin "birleştirmeler (associations)", "oluşumlar (generalizations)" ve "Bağımlılıklar (Dependencies)" gibi bloklar arasındaki ilişkileri açıklar. Ayrıca, özellikler ve operasyonlar vasıtasıyla blokların tanımlarını ve sistem hiyerarşisi veya sistem sınıflandırma ağacı gibi ilişkileri içine almaktadır. Temel amaç, sistem hiyerarşisi veya sistem sınıflandırma ağacı gibi özellikler, işlemler ve ilişkiler vasıtasıyla blok tanımları oluşturmaktır. SysML blokları, UML karma yapıları tarafından genişletilmiş olarak UML sınıflarına dayanır. Örneğin daha fazla özelleştirilmiş birleştirme biçimleri gibi UML sınıflarındaki bazı mevcut yetenekler, SysML bloklarından dili basitleştirmek amacıyla çıkarılmıştır. SysML blokları her zaman iç bağlayıcıları tanımlama yeteneğine sahiptir. Ayrıca SysML Blokları; UML sınıflarını ve yeniden kullanılabilir sınırlandırma biçimli bağlayıcı yeteneklerini, bağlayıcı uçlarının çok seviyeli yerleştirilmesini, karma birleştirme sınıfları için ortak özellikleri ve konektör özelliklerini genişletir.

UML birleşik yapı diyagramını temel alan iç blok diyagramları, benzersiz ve karakteristik değerlere sahip olan blokları belirlemede kullanılabilir. Bu diyagram, özellikler ve bunlar arası bağlayıcılar aracılığıyla bir bloğun içyapısını elde etmede kullanılır. Bir blok, kendi değerlerini, parçalarını ve diğer bloğa olan referansları kapsayabilir. Şekil 1.11'de; kriko sistemi, genel hatlarıyla bağlı olduğu dış aktörler ve dış sistemler açısından "Kapsam Diyagramı" adı altında bir blok diyagramı ile ifade edilmiştir. Burada dış aktörler: sürücü ve tamircidir. Dış sistemler ise: hava, yol zemini ve araba alt zeminidir. Aktörler, sistemi doğrudan etkileyen, yönlendiren ve çalışmasında esas görevli olan faktörlerdir. Dış sistemler ise; sistemi dolaylı olarak etkileyen ve harici tutulabilecek dış faktörlerdir. Böylece, geliştirilecek sistemin bulunduğu ortam ve şartlardaki diğer dış faktörlerdir tasarıma dâhil edilmiş olacaktır. Diyagramda «system» ve «external» gibi stereotipler kullanıcı tarafından girilebilirler ve SysML'de varsayılan (default) olarak tanımlı değildirler.

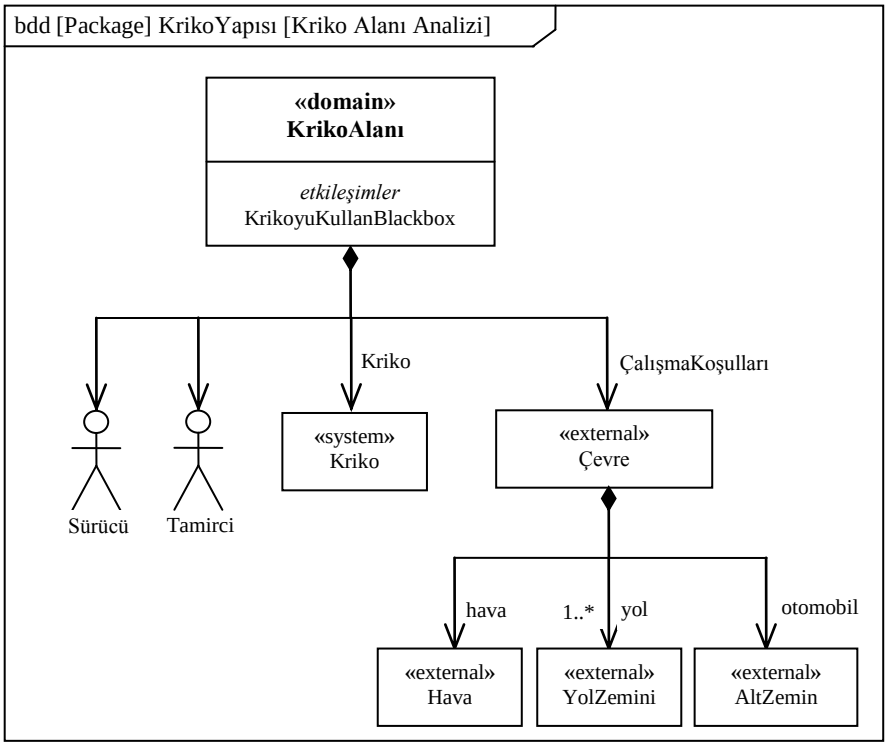
EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko



Şekil 1.11. Kullanıcı-Tanımlı Bağlam Diyagramı ile kriko kapsamını oluşturma

Şekil 1.12, kapsam diyagramında daha önceden belirlenmiş olan kriko kavram tanımlarının (aktörler, ana sistem, alt sistem ve dış sistemler) ilişkilerini gösteren bir blok tanım diyagramını göstermektedir. Burada kriko kavram tanımları bloklar halinde düzenlenmiştir. Ayrıca bloklar halinde gösterim yapılırken daha önceden var olan *etkileşimler* de gösterilebilmektedir. Örneğin bu diyagramda "KrikoyuKullanBlackbox" etkileşimi "KrikoAlanı" bloğu içinde verilmiştir. Böylece kriko tasarım alanında yer alan çeşitli etkileşimler de bir bütünlük içinde takip edilebilmektedir.

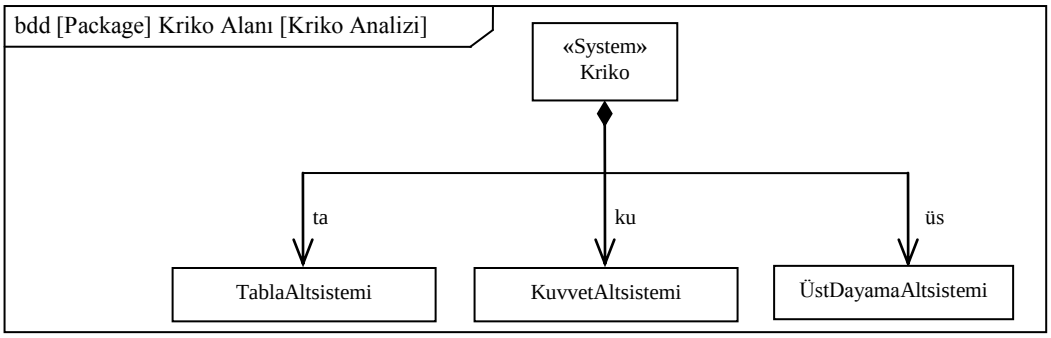
EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko



Şekil 1.12. "Kriko Alanı" bloğunu, blok tanım diyagramı ile tanımlama

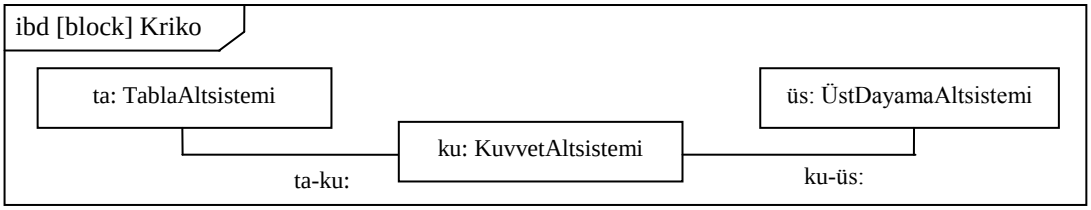
"Kriko" sisteminin alt sistemleri Şekil 1.13'deki blok tanım diyagramı ile belirlenebilir. Bu blok diyagramında kriko üç alt sisteme ayrılmıştır. Bunlar: "TablaAltsistemi" (krikonun zemine oturduğu alt sistem), "KuvvetAltsistemi" (kaldırma kuvvetinin oluştuğu alt sistem) ve "ÜstDayamaAltsistemi" (aracın taban kısmını kavrayan alt sistem) şeklindedir.

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko



Şekil 1.13. Kriko sisteminin yapısını belirleme

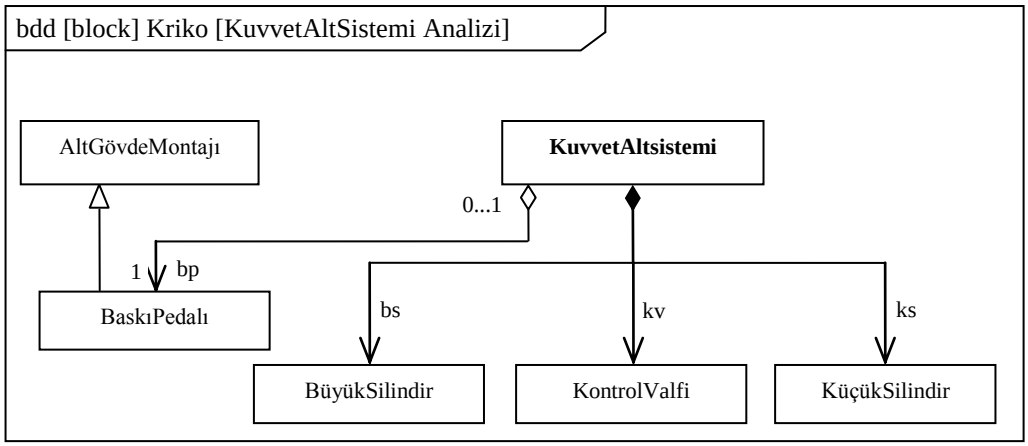
Şekil 1.14, krikoyu oluşturan alt sistemlerin birbiriyle olan bağlantılarını göstermektedir. Ayrıca her bağlantıya "ta-ku" gibi bir ilişki adı verilmektedir. Bu bağlantılar, sistemler arası akışlar dikkate alınarak adlandırılmaktadır. Örneğin; "KuvvetAltsistemi" bloğundan çıkan hidrolik akışkan kuvveti "ÜstDayamaAltsistemi" bloğuna iletildiği için "ku-üs" ilişkisi ortaya çıkmaktadır.



Şekil 1.14. Krikonun iç yapısı

Şekil 1.15'te verilen blok tanım diyagramı incelendiğinde, "KuvvetAltsistemi" temel olarak üç sistemden (büyük silindir, kontrol valfi ve küçük silindir) oluşmaktadır. Bunların yanında "BaskıPedalı" bileşeni ve "AltGövdeMontajı" bloğu da "KuvvetAltsistemi" ile ilişkilidir. Burada "BaskıPedalı" bileşeni hem KuvvetAltsistemi" hem de "AltGövdeMontajı" içinde yer alır. Bu bileşen "AltGövdeMontajı" bloğuna ait bir parça olduğu için içi boş üçgen (Δ) ile gösterilmiştir. "KuvvetAltsistemi" ile de paylaşımlı bileşen özelliği (use-not-composition) taşıdığı için içi boş dörtgen (◊) ile gösterilmiştir.

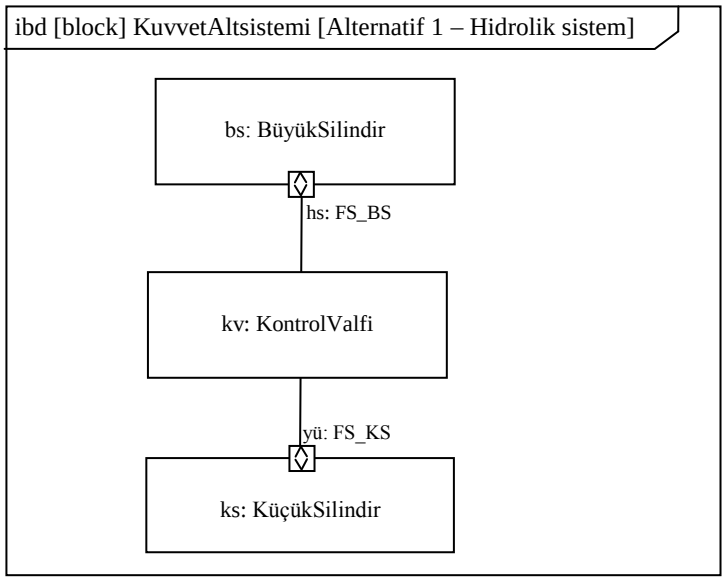
EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko



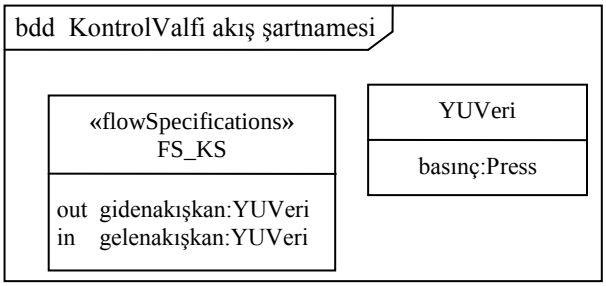
Şekil 1.15. "KuvvetAltsistemi" blok yapısını belirleme

Şekil 1.16'da "BüyükSilindir", "KontrolValfi" ve "KüçükSilindir" blokları arasındaki akışlar, akış portları (flowports) kullanılarak bir iç blok diyagramında gösterilmiştir. Burada "KontrolValfi" bloğu bir aracı blok görevi görmektedir. Hidrolik kriko mekanizmalarındaki kontrol valfinin temel görevi, küçük silindirden gelen basınçlı akışkanı büyük silindire taşımak ve istenilen zaman sınırlarında bu basıncı korumaktır. Şekil 1.16'daki bloklar arasındaki SysML akış türü atomik olmayan (yani tek yönlü olmayan) akış türüdür. Çift yönlü akış türü seçilmesinin sebebi kontrol valfinin çift yönlü çalışmasıdır. Ayrıca bu akışların yönleri "hs:FS_BS" ve "yü:FS_KS" olarak adlandırılmış ve akış şartnamelerinde belirtilmiştir (Şekil 1.17).

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko



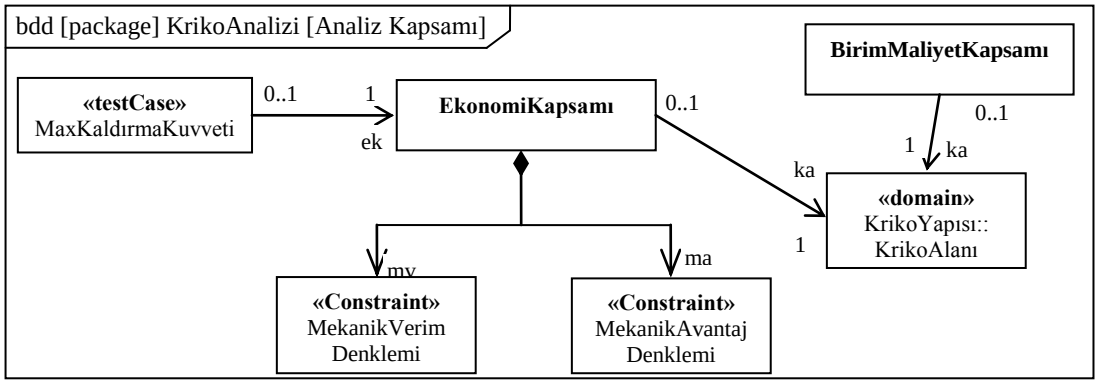
Şekil 1.16. "KuvvetAltsistemi" blok içyapısını akış portları kullanarak gösterme



Şekil 1.17. Yağ ünitesine ait akış şartnamesi

Şekil 1.18, kriko sisteminin hangi kapsam ve sınırlamalar içinde analiz edileceğini ve bu sisteme hangi test durumlarının uygulanacağını belirten bir blok tanım diyagramını göstermektedir. Burada kriko sistemi; ekonomik ve birim maliyet kapsamında analiz edilecektir. Ayrıca "MaxKaldırmaKuvveti" test durumu, ekonomi kapsamını doğrulayan test durumlarından birisidir.

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko



Şekil 1.18. Kriko mühendislik geliştirmesi için analizleri belirleme

1.7. Sınırlandırma Blokları ve Parametrik Diyagram

Sınırlandırma blokları; performans ve güvenilirlik modelleri gibi mühendislik analizlerini diğer SysML modelleriyle bütünleştirecek bir mekanizma sağlar. Sınırlandırma blokları, bir sistemin fiziksel yapısını sınırlandıran F=m.a ve a=dv/dt gibi matematiksel ifadeleri temsil eden bir sınırlandırma ağını belirlemede kullanılabilir. Ayrıca bazı sınırlandırmalar, sistem yaşam döngüsü süresince izlenebilen kritik performans parametrelerini ve bunların diğer parametrelerle ilişkilerini tespit etmede kullanılabilmektedir. Örneğin bir Sınırlandırma bloğu F=m.a gibi bir sınırlandırmayı ve F, m ve a gibi sınırlandırma parametrelerini kapsar. Sınırlandırma blokları çoklu kapsamda kullanılabilen yerel sınırlandırma biçimlerini tanımlar. Yeniden kullanılabilir sınırlandırma tanımları, blok tanım diyagramlarında belirtilebilir ve genel amaçlı veya alan-özel model kütüphanelerinde paketlenebilir. Parametrik diyagramlar, diğer bir bloğun özelliklerini sınırlandırmak için sınırlandırma bloklarının kullanımını kapsar. Bununla birlikte Parametrik diyagramlar, dengeleme analizini (trade-off analysis) desteklemek için kullanılabilir. Bir sınırlandırma bloğu alternatif çözümleri karşılaştırmak için nesnel bir fonksiyon tanımlayabilir. Nesnel fonksiyon; etkinlik veya yararlık ölçülerini sınırlandırabilir ve alternatifleri değerlendirmede kullanılacak çeşitli kriterlerle ilişkilendirilmiş fayda fonksiyonlarına ağırlık vermeyi içerebilir. Örneğin; bu kriter sistemin performansı, maliyeti ve arzu edilen fiziksel özellikleri ile ilgili olabilir.

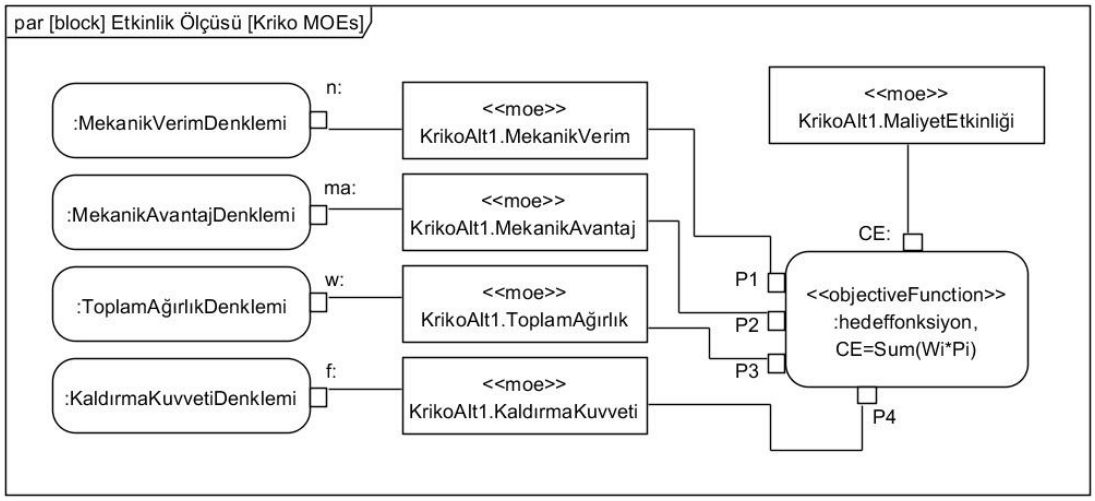
EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko

Bir parametrik diyagram, iç blok diyagramının kısıtlanmış bir şekli olarak tanımlanabilir. Parametrik diyagram, iç blok bağlamı içindeki diğer özelliklerle birlikte sınırlandırma özellikleri ve parametrelerini içerebilir. Bilgisayar destekli tasarımın bilgisayar destekli mühendislikle bütünleştirilmesi özellikle bu tür diyagramlar ile yapılabilmektedir.

Aşağıda krikoya ait tüm maliyet etkinliğinin nasıl değerlendirileceğini gösteren bir parametrik diyagram verilmiştir (Şekil 1.19). Burada alternatif bir kriko tasarımını değerlendirmek amacıyla özel maliyet etkinliği tanımlanmıştır. Diğer yandan bu ölçüler diğer alternatifleri değerlendirmede de tekrar kullanılabilecektir. Örneğin, bu alternatif çözümde *kaldırma kuvveti oluşturma* fonksiyonu hidrolik sistem ile sağlanmıştır. Bu fonksiyon, çeşitli mekanik (makas mekanizması, kama mekanizması) veya hava basınçlı çözümlerle karşılanabilir. Şekil 1.19 incelendiğinde, birçok önemli ölçüt (mekanik verim, mekanik avantaj vb.) dikkate alınmış ve sonuç olarak CE maliyet etkinliğini hesaplamak için bir ağırlık denklemi oluşturulmuştur. Burada denklemlere ait girdi ve çıktı değerleri bir $\ll moe \gg$ stereotype içine eklenmiş ve ana hedef fonksiyonuna yönlendirilmiştir. Hedef fonksiyon çıktısı CE (maliyet etkinliği) olup CE= Sum(Wi*Pi) bağıntısı ile hesaplanacaktır. Burada Wi, $\ll moe \gg$ çıktılarına (P1, P2, P3, P4) ait ağırlıklardır. Bu bağıntılar sonucunda ilk alternatif çözümün değerlendirilebilmesi için gerekli hedef fonksiyon elde edilmiş olacaktır.

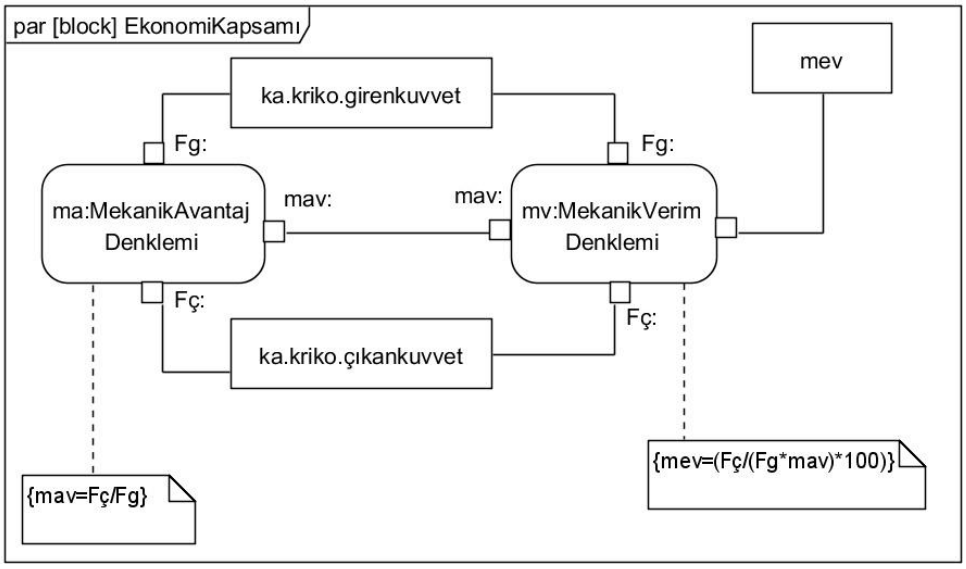
MOE (measure of effectiveness) analizi, SysML diline özgü bir etkinlik hesaplama yöntemi olup nesnel uyarlı yaklaşıma dayanmaktadır.

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko



Şekil 1.19. Kriko etkinlik ölçüsü ve anahtar ilişkileri tanımlama

Kriko tasarımında etken olan önemli parametre ve bağıntılar, Şekil 1.20'de verilen bir parametre diyagramında gösterilmiştir. Burada her blok içindeki bağıntılar, sınırlandırma notları kullanılarak ifade edilmiştir. Örneğin "MekanikAvantajDenklemi" için sınırlandırma notu {ma=Fç/Fg} olarak verilmiştir. Bu bağıntı ile hesaplanan "mav" değeri aynı zamanda "MekanikVerimDenklemi" bloğuna ait bir girdi olmaktadır.



Şekil 1.20. Krikonun ekonomi kapsamı için matematiksel model oluşturma

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko

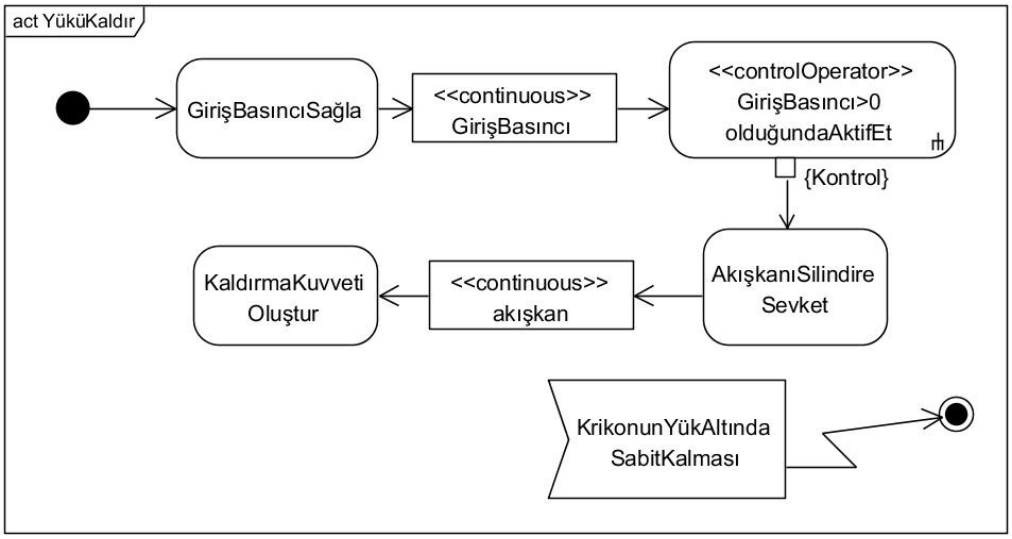
1.8. Faaliyet Diyagramı

Faaliyet diyagramları ile bir sistemin fonksiyon ve davranışları modellenebilmektedir. Faaliyet modelleme; diğer davranışları koordine edecek girdiler, çıktılar, sıralamalar ve koşullar üzerinde durur. Bu modelleme, belirli davranışlara sahip olan bloklara esnek bir bağlantı sağlar. Ayrıca iş sistemi modellemesinde başarı ile kullanılmaktadır.

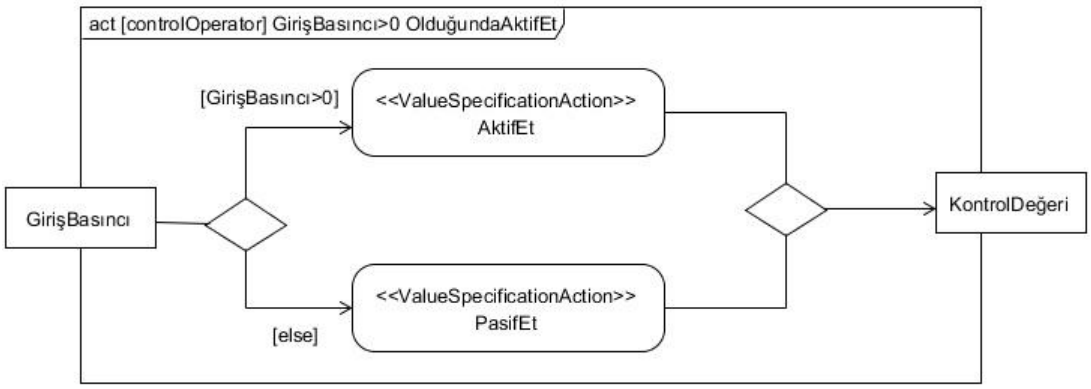
UML 2.1'de yer alan Faaliyetlerde, "Kontrol" özelliği sadece eylemleri (action) başlatabilir. SysML ise, "Kontrol" özelliğine eylemleri başlatma yanında eylemleri durdurma desteği de ekler ve böylece "Kontrol" özelliğini genişletir. SysML, "devamlı (continuous)" terimi altında serbest gruplanmış olan uzantılar getirmiş olup bilgi ve fiziksel madde akışının herhangi bir çeşidine de uygulanabilir. Diğer bir yenilik olarak SysML, karar ve nesne düğümleri yardımı ile olasılık içeren aktiviteler de sunmuştur.

Şekil 1.21, "YüküKaldır" fonksiyonunun nasıl gerçekleştiğini açıklayan ayrıntılı bir davranış modellemesini göstermektedir. Burada ilk davranış, kullanıcının (sürücünün) baskı pedalına basması ile oluşan "GirişBasıncıSağla" davranışıdır. Bu davranış sonucunda $\ll continuous \gg$ özellik taşıyan "GirişBasıncı" çıktısı oluşmaktadır. Daha sonra bu çıktı, bir kontrol operatöründe "GirişBasıncı>0" şartına göre değerlendirilir ve bir sonraki davranışa aktif ya da pasif komutu gönderilir (Şekil 1.22). Eğer aktif komutu gönderilirse "AkışkanıSilindireSevket" davranışı aktif olur, eğer pasif komutu gönderilirse "AkışkanıSilindireSevket" davranışı başlamaz. "AkışkanıSilindireSevket" davranışı aktif olduğunda "akışkan" çıktısı verir ve "KaldırmaKuvvetiOluştur" davranışı gerçekleşir. Son olarak kaldırma kuvvetinin oluşmasıyla yük altındaki kriko sabitlenir ve "YüküKaldır" fonksiyonu sona erer.

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko



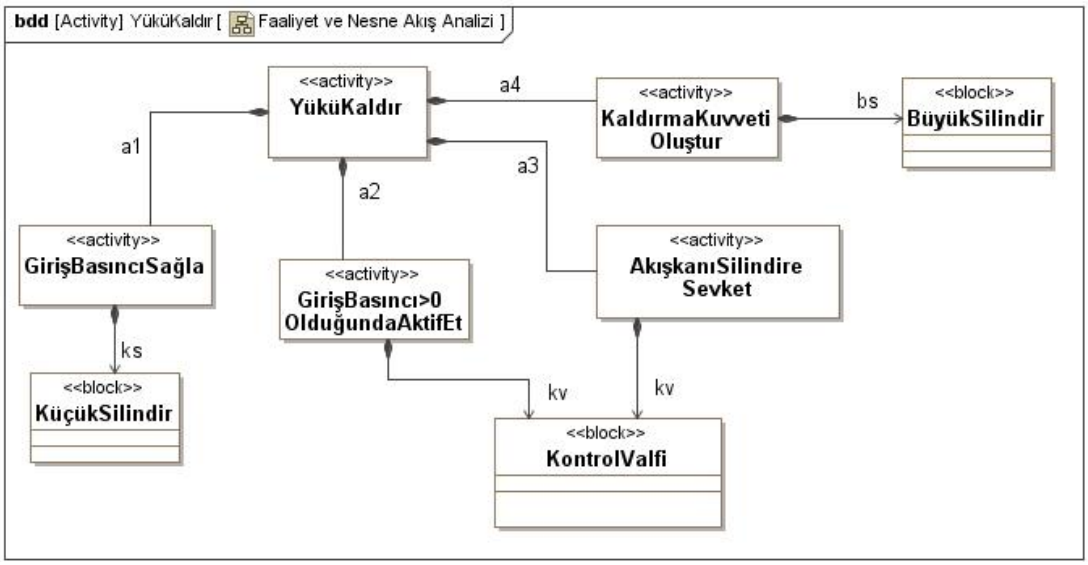
Şekil 1.21. "YüküKaldır" fonksiyonu için ayrıntılı davranış modeli



Şekil 1.22. "GirişBasıncı>0 OlduğundaAktifEt" kontrol operatörü iç yapısı

Şekil 1.23, "YüküKaldır" fonksiyonuna ait olan faaliyetleri (davranışların) ve bu faaliyetlerin ilişkili olduğu blokları gösterir. Şekildeki diyagramda toplam dört davranış ve üç blok vardır. Burada davranışlar ve bloklar arasında ilişkilendirmeler yapılmıştır. Örneğin; "KüçükSilindir" bloğu "GirişBasıncıSağla" davranışı ile ilişkilendirilmiştir. Bunun sebebi, ilk hareketin küçük silindirden gelmesidir. Aynı şekilde diğer blok ve davranışlar da birbiriyle ilişkilendirilmiştir.

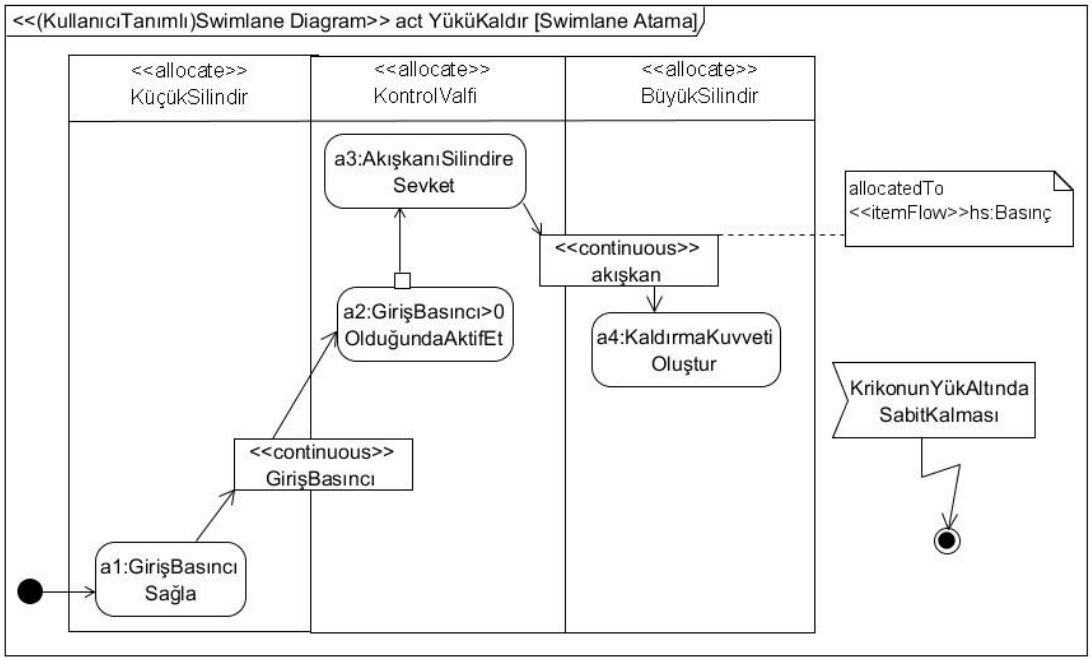
EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko



Şekil 1.23. "YükükaldırI" fonksiyonunun ayrışması

Şekil 1.24, "YükükaldırI" fonksiyonunu oluşturan davranışlar ve bunların tahsis edildiği bloklar arası ilişkilerin yer aldığı bir kulvar diyagramını göstermektedir. Burada davranışlar belirli bir başlama noktasından bitiş noktasına kadar olan bir süreci takip etmektedir. Aynı zamanda hangi bloğun hangi davranış esnasında görev aldığı da kulvar diyagramında açıkça görülebilmektedir. Örneğin; "GirişBasıncıSağla" davranışı ile başlayan süreçte ilk çalışan sistem bloğu "KüçükSilindir" bloğudur. Diğer davranışlar ve bloklar bu süreci benzer şekilde takip etmektedir. Swimlane diyagramındaki bloklar ve davranışlar arasındaki $\ll allocate \gg$ atama (tahsis etme) ilişkileri Şekil 1.25'deki tabloda verilmiştir. Böylece bir makine sisteminin yapısı (bloklar) ve davranışları arasında bağlar kurulabilmektedir.

EK-1. (Devam) SysML ile Örnek Bir Tasarım Problemi Modelleme: Kriko



Şekil 1.24. "YüküKaldır" fonksiyonuna ait ayrıntılı davranış modeli

Çizelge 1.1. "YüküKaldır" davranışından Kuvvet Alt Sistemine yapılan atamalar

type	**name**	**end**	**relation**	**end**	**type**	**name**
activiy	a1:GirişBasıncıSağla	from	allocate	to	block	KüçükSilindir
activiy	a2:GirişBasıncı>0, AktifEt	from	allocate	to	block	KontrolValfi
activiy	a3:AkışkanıSilindireSevket	from	allocate	to	block	KontrolValfi
activity	a4:KaldırmaKuvvetiOluştur	from	allocate	to	block	BüyükSilindir
ObjectNode	akışkan	from	allocate	to	itemflow	hs:Basınç

Buraya kadar yapılan işlemlerle; SysML grafik dili kullanılarak örnek bir kriko sisteminin nasıl modellenebileceği ve çeşitli diyagramlar ile gösterilebileceği ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

EK-2. 40 TRIZ Prensibi

2.1. Bölme/Bölümleme (Parçalara Ayırma)

A- Bir nesneyi bağımsız parçalara bölmek.
B- Bir nesneyi bölümsel (parçalı) yapmak (kolay montaj ve demontaj için).
C- Bir nesnenin bölümleme derecesini artırmak.

Örnekler:

1- Telefon tuşları
2- Takvim yaprakları
3- Ürün paketleme hatlarında küçük boyutlu ürünleri birden çok tutacakla alınması
4- Uçak ön camlarının bölümler halinde yapılması
5- Görsel zekâyı geliştirmede kullanılan yap-boz araçları
6- Çelik konstrüksiyon, çatı-makas sistemleri
7- Mastarlar
8- Dişliler
9- Küçük bölümlerden oluşan patlamaz tekerler

2.2. Ayırma, Çıkarma, Geri Alma

A- Bir nesneden rahatsız edici parça veya özelliği çıkarmak.
B- Bir nesneden sadece gerekli parça veya özelliği çıkarmak.

Örnekler:

1- Bozulan bir makine parçasını değiştirmek
2- Çok yer kaplayan hız kutuları yerine varyatör tasarlamak
3- Zamanla sistem performansını düşüren toz, nem vb. istenmeyen etkilerin ortadan kaldırılması, temizlenmesi
4- Uçak gövde tasarımında kompozit malzeme kullanımı

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

5- Petrol elde etme

2.3. Bölgesel Kalite

A- Bir nesne veya dış ortamı homojenden heterojen bir yapıya dönüştürmek, taşımak.
B- Bir nesneye ait farklı parçaların farklı fonksiyonlara sahip olması.
C- Bir nesneyi oluşturan farklı parçaların çeşitli işlevler yapacak şekilde yerleştirilmesi.

Örnekler:

1- Birkaç kademeden oluşan bir milin farklı toleranslarda işlenmesi
2- Gürültülü ortamlarda cep telefonu ile konuşmak güç olabilir. Bu sorunu çözmek için cep telefonu hoparlör kısmını kulağa uygun şekilde oturacak ve uzaklaştırıldığında eski halini alabilecek bir malzemeden yapılması
3- Farklı doğrusal hız ve hareket için kam yüzeyi tasarlama

2.4. Asimetri

A- Simetrik biçimleri asimetrik biçimlerle değiştirmek.
B- Eğer bir nesne asimetrik ise asimetri derecesini artırmak.

Örnekler:

1- Kam, kama ve kilit mekanizmaları
2- Yataklamalarda fazla yük taşıyan mil çapının daha büyük olması
3- Dişli kutularında gövde içindeki yağın tamamen boşaltılabilmesi için gövde alt iç yüzeyini eğimli yapma
4- Çeşitli basit makinalar; örneğin, kaldıraç, eğik yüzey vb.

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

2.5. Birleştirme

A- Aynı türden nesneleri veya bitişik operasyonlar için belirlenmiş nesneleri aynı mekanda birleştirmek.
B- Aynı türden veya bitişik operasyonları aynı zamanda gerçekleştirmek.

Örnekler:

1- Duble cam
2- Hem eksenel hem radyal yükler taşıyan yatak
3- Takım tezgâhlarında kesme işlemi yanında soğutma işlemi uygulama
4- Yataklamalarda yağlama işlemi

2.6. Çok Amaçlılık (Evrensellik)

A- Bir nesnenin birkaç farklı fonksiyonu yerine getirmesi. Böylece diğer/gereksiz elemanların çıkarılması.

1- Makas, İngiliz anahtarı
2- Standartlar
3- Lamba, ısı pompası
4- Lazer kaleminin ışık yansıtması ve uzatıldığında çubuk şeklini alması

2.7. İç İçe Geçebilme

A- Bir nesne diğerinin içine yerleştirilir. Bu yeni oluşum da diğer bir nesne içine yerleştirilir ve böyle devam edebilir.
B- Bir nesne diğer bir nesnenin içindeki boşluktan geçebilir.

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

Örnekler:

1- Anten vb.
2- Ampul-duy montajı
3- İçi içe geçmiş mobilyalar
4- Telefon avizesinin telefon yüzeyine oturması
5- Uçak iniş takımları

2.8. Ağırlık Dengeleme

A- Bir nesnenin ağırlığını, kaldırma kuvveti sağlayan diğer bir nesne ile dengelemek.
B- Bir nesnenin ağırlığını dış ortam tesirli aerodinamik veya hidrodinamik kuvvetlerle dengelemek.
C- Bir sistemin negatif özelliklerini ortamdaki mevcut karşıt kuvvetlerle dengelemek.

Örnekler:

1- Uçan balonlar
2- Vinçler, fork liftler vb.
3- Şamandıra, sıvı ölçekleri
4- Araba lastikleri
5- Basit makinalar

2.9. Önceden Önlem Alma, Hataları Giderme

A- Aşırı ve istenmeyen gerilmeleri gidermek için bir nesneye ön yükleme önlemi uygulamak.

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

Örnekler:

1- Isınmayı önlemek için makine parçalarını önceden yağlanması
2- Metallerin paslanmasını önlemek için boyanması
3- Sertleştirme işlemleri

2.10. Ön Eylem

A- Bir nesneye, gerekli değişiklikleri tamamen veya kısmen önceden uygulamak.
B- Nesneler önceden öyle bir yerleştirilmeli ki en uygun konumda hızlı bir şekilde faaliyete geçebilsinler.

Örnekler:

1- Havşa açmak, pah kırmak
2- Büyük delik delme işlemi öncesinde küçük matkapla delmek
3- Kışın otomobillerin kolay çalışabilmesini sağlayan ek ısıtma sistemler
4- Çekme kalıplarında çekilmiş ürünlerin kolayca çıkması için alt bölgeye yay yerleştirmek
5- Ambalajları kolay açmak için önceden kırmızı şerit vb. kullanmak

2.11. Önceden Güvenilirlik Sağlama

A- Nispeten düşük güvenilirlikli bir nesneyi, önceden hazırlanan önlemlerle desteklemek.

Örnekler:

1- Emniyet kemeri, kapı kilidi, kar lastiği, emniyet supapları

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

2- Sigorta tesisatı, ekran koruyucu, basıp açmalı ilaç kutuları
3- Tornada çalışırken talaş sıçramalarını önleyen koruma camı
4- Otomobil üzerinde konum sensörleri

2.12. Eş Potansiyellilik

A- Çalışma koşullarını öyle bir hale getir ki bir nesneyi kaldırma ve indirme gerekli olmasın

Örnekler:

1- Kesilmiş ağaçları yuvarlayarak taşıma
2- Döküm gövdelerinin aynı et kalınlıklarında ve ergiyik çıkışını kolaylaştıracak şekilde biçimlendirilmesi
3- Her türlü merdiven tasarımları
4- Ağır ve uzun metallerin konveyör sistemi üzerinde taşınması

2.13. Eylemi Tersten Düşünme

A- Bir problem tarafından yönlendirilen doğrudan eylem yerine karşıt bir eylem uygulamak (örneğin; ısıtma yerine soğutma gibi).
B- Bir nesnenin hareketli parçasını veya dış ortamı sabit, sabit parçayı ise hareketli yapmak.
C- Bir nesneyi ters-düz yapmak veya zıt bir eylem uygulamak.

Örnekler:

1- Zımba yerine kalıbı hareketlendirme
2- Kalem yerine kalemtıraşı döndürme
3- Yürüme bandı

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

4- Planet dişli sistemi
5- Kramayer-karşılık dişlisi sistemini tersine çevirme
6- iç ve dış segman kullanma
7- Pah-havşa
8- Çekme-basma yayı
9- Arkadan çekiş yerine önden çekişli araba tasarımı
10- Yer altındaki toplu taşıma hatları
11- Binalardaki alttan ısıtma sistemleri

2.14. Küresellik

A- Doğrusal parçaları eğri parçalarla, düz yüzeyleri küresel yüzeylerle ve küp biçimleri yuvarlak biçimlerle değiştirmek.
B- Makara, küresel eleman ve spiraller kullanmak.
C- Doğrusal hareketi dönel harekete değiştirmek, merkezkaç kuvvetinden faydalanmak.

Örnekler:

1- Kam mekanizmaları
2- Yuvarlanmalı yatak, fren, kavrama, dişli vb. makine elemanları
3- Vida sistemleri
4- Tükenmez kalemlerin ucundaki dönel yuvarlanma elemanı
5- Torna aynası ve divizör

2.15. Dinamiklik

A- Bir nesnen veya dış ortam karakteristikleri, her operasyon aşamasında optimal performans sağlayacak şekilde değiştirilmelidir.

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

B- Nesne hareketli değilse hareketli veya tam tersi yapılmalıdır. Böylece değiştirilebilir hareket sağlanmalıdır.

C- Nesneyi, birbirine bağlı olarak pozisyonları değişebilen elemanlara ayırmak.

Örnekler:

1- Hız kutuları
2- Işık şiddetini ayarlayabilen elektrik anahtarı
3- Ağır beyaz eşyaların tekerlekli olması
4- Yolcu otobüslerindeki hareketli koltuk kolları
5- Kepçe vb. ağır iş makineleri
6- Çizim aparatı, çeşitli mekanizmalar

2.16. Kısmi veya Aşırı Eylem

A- Arzulanan etkiye %100 ulaşmak zorsa bu etkinin azına veya fazlasına ulaşmak.

Örnekler:

1- Talaşlı imalat işlemlerinde işlenecek ham parçaların net ölçülerden fazla olması
2- Bir sistemde sadece sürtünen yüzeylerin yağlanması
3- İmalat kolaylığı olması için tasarımda kör delik yerine boydan boya delik tercih edilmesi

2.17. Yeni Bir Boyuta Taşıma

A- Nesnelerin bir boyutlu hareketini veya yerleşimini iki boyutluya; iki boyutlu hareketini üç boyutlu harekete dönüştürmek.

B- Çok seviyeli nesne oluşumlarından faydalanmak.

C- Bir nesneyi eğimli yapmak veya yan yana gelecek şekilde yerleştirmek.

D- Belirli bir yüzeyin karşı/zıt tarafından faydalanmak.

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

E- Optik ışınları bir nesnenin komşu alanlarına veya ters tarafına yansıtmak.

Örnekler:

1- Damper, robot kolları ve hareketleri
2- İki yönlü açılabilen pencereler
3- Raflar, çok katlı otoparklar
4- Ölçüm mastarları
5- Bilgisayar kasası içindeki donanımların farklı boyut ve konumda yerleştirilmesi
6- Eğimli kama, eğik yüzey sistemleri (takoz vb.)
7- Klasik tornalama işleminde mil tornalarken punta deliği kullanma
8- Araç aynaları
9- Mercekle ısıtılan seralar, güneş panelleri, gözlük camları, mikroskop

2.18. Mekanik Titreşim

A- Salınımdan faydalanmak.
B- Salınım varsa salınım frekansını ultrsonik düzeye çıkarmak.
C- Rezonans frekansı kullanmak.
D- Mekanik titreşimleri pizeo titreşimlerle değiştirmek.
E- Ultrasonik titreşimleri elektromanyetik alanlarda kullanmak.

Örnekler:

1- Otomatik sallanan bebek beşiği
2- Çeşitli titreşimli masaj aletleri
3- Tıbbi ultrason cihazları
4- Elek sistemleri

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

2.19. Periyodik Eylem

A- Devamlı bir eylem yerine peryodik eylemle yer vermek.
B- Eylem halihazırda periyodikse eylemin frekansını değiştirmek.
C- Ek eylemler sağlamak için peryodik hareketler arasında duraklamalar kullanmak.

Örnekler:

1- Mürekkep püskürtmeli yazıcılar
2- Trafik ışıkları
3- ABS fren sistemi
4- Damla sulama sistemleri
5- Makas, bıçak, testere vb. keski aletleri
6- Darbeli matkaplar

2.20. Faydalı Eylemi Sürdürme

A- Eylemi ara vermeden gerçekleştirmek. Nesnenin tüm parçaları sürekli olarak tam kapasitede çalışmalıdır.
B- Gereksiz ve ara hareketleri ortadan kaldırmak.
C- İleri-geri hareketi yerine dönel hareket kullanmak.

Örnekler:

1- Taşlama tezgâhı (alet bileme)
2- İçten yanmalı motorların, kombilerin sürekli olarak çalışması.
3- Parça klonlama tezgâhları
4- CNC tezgâhlarında kesici takımların dönel yerleştirilmesi

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

2.21. Eylemi Hızlı Yapma

A- Zararlı ve tehlikeli işlemleri çok yüksek hızlarda uygulamak.

Örnekler:

1- Kaliteli işleme yüzeyi elde etmek için yüksek hız değerlerinde çalışma
2- Delgeç, kağıt zımbası
3- Çamaşır makinelerinde kurutma devrinin yüksek tutulması
4- LCD ve LED monitörlerde tepkime süresinin optimizasyonu

2.22. Zararı Faydaya Dönüştürme

A- Pozitif bir etki elde etmek için özellikle çevresel olan zararlı faktörlerden faydalanmak.
B- Bir zararlı faktörü diğer zararlı faktörle birleştirerek ortadan kaldırmak.
C- Zararlı eylemin derecesini zararlı olmayı durdurabilecek şekilde artırmak.

Örnekler:

1- Su kireci toplayan kap, radyatör vb. elemanları temizlemek için kireç çözücü kimyasallar kullanma
2- Odun-kömür sobalarının iç yüzeylerini yakarak temizleme
3- Büyük yangınları önlemek için yangını çevreleyen küçük yangınlar oluşturma
4- Boru çatlaklarını kaynatırken çatlak büyümesini önlemek için çatlak önüne delik açma
5- Mekanik sistemleri rezonanstan koruyan alt sistemler

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

2.23. Geri besleme

A- Geri besleme kullanmak.
B- Halihazırda geri besleme varsa onu değiştirmek.

Örnekler:

1- ABS sisteminde tekerlerin hızını ölçen sensörler
2- Emniyet supabı
3- Araçlardaki park vb. işlemleri kolaylaştırmak amacıyla kullanılan uzaklık sensörleri
4- Mekanik yağ veya basınç göstergeleri, boşaltma valfleri

24. Ara Eleman veya Nesne Kullanma

A- Bir eylemi transfer etmek veya gerçekleştirmek için aracı nesne kullanmak.
B- Orijinal nesneyi geçici olarak kolay çıkarılabilecek bir nesne ile birleştirmek.

Örnekler:

1- Kaplin, kavrama, varyatör, hız kutusu vb.
2- Kayış, zincir, halat vb.
3- Kablolar
4- İnşaat ve imalat sektöründeki kullanılan iş kalıpları
5- Mehengir ile markalama işlemi

2.25. Kendi Kendine Hizmet

A- Nesnenin kendi kendine hizmet etmesi, destek ve onarım faaliyetlerini yapması.
B- Atık malzeme ve enerjiden faydalanmak.

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

Örnekler:

1- Yeni teknoloji ürünü otomobil lastikleri (küçük bölümlerden yapılır, patladığında hemen inmez)
2- Motor ısısını otomobil iç ortamına verme
3- Volan kullanarak depolanan potansiyel enerjiyi hızın sabitlenmesinde ve sürekliliğinde kullanma
4- Isı pompalarında atık ısının yüzme havuzu vs. yerlerde kullanılması

2.26. Kopyalama

A- Basitleştirilmiş veya pahalı olmayan bir kopya, kırılgan, orijinal ve çalışması elverişli olmayan bir nesne yerine kullanılmalıdır.
B- Görünen bir optik kopya kullanılırsa, onu kızılötesi veya morötesi kopya ile değiştirmek.
C- Bir nesneyi (veya nesneler sistemini) optik görüntüsü ile yer değiştir. Bu görüntü sonra küçültülebilir veya büyültülebilir.

Örnekler:

1- 3D CAD modelleri / 3D printig
2- Prototipler
3- Uydudan çekilen fotoğraflarla 3D modeller oluşturma.
4- Bir vagondaki tomruk çaplarını ölçmek için foto çekme yöntemi
5- Bina boyutları, makine ölçüleri

2.27. İmha Edilebilme (Kullanılıp Atma)

A- Pahalı bir nesneyi, diğer özellikleri (uzun ömür gibi) içeren ucuz bir nesne ile yer değiştirmek.

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

Örnekler:

1- Conta, keçe, filtre, burç vb.
2- Hazır tabak, bardak, kaşık, çatal, bıçak, peçete vb.
3- Civata, somun, pim, rondelâ, segman, rulman, balata, dişli vb.

2.28. Mekanik Sistem Yerine Farklı Sistemler Kullanmak

A- Mekanik bir sistemi optik, ısıl veya kokuya yönelik bir sistem ile yer değiştir.
B- Bir nesne ile etkileşim içinde olan elektrik, manyetik veya elektro manyetik alan kullan.
C)

- Durağanı hareketli,
- Sabiti zamanla değişen,
- Düzensiz olanı düzenli olanlar ile yer değiştir.

D- Alanları, ferromanyetik parçacıklarla birlikte kullan

Örnekler:

1- Korna tasarımı elektronik olabilir.
2- Yangın butonu, detektörler.
3- Mekanik saat ve zili yerine elektronik saat ve zili
4- Varyatör hız ayarı mekanik veya elektronik yapılabilir
5- Elektromanyetik dalgalarla buzlu cam üretmek.

2.29. Pnömatik veya Hidrolik Konstrüksiyon

A- Bir nesnenin katı parçalarını, gaz veya sıvı ile yer değiştir.

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

Bu parçalar şişirme işlemi için hava veya su kullanabilir veya pnömatik ve hidrostatik yastık kullanabilir.

Örnekler:

1- Şişme ambalaj naylonları
2- Su ile kesme
3- Sıvı ile yüzeyin veya nesnenin eğikliğini ölçme
4- Hidrolik fren, kriko, pres, kontrol vb.

2.30. Esnek Zar veya İnce Filmler

A- Alışılagelmiş konstrüksiyonları esnek zar veya ince filmlerle yer değiştirmek.
B- Bir nesneyi dış ortamdan esnek zar veya ince filmlerle izole etmek.

Örnekler:

1- Araç ya da ev camlarına sürülen özel bir kimyasal sıvı ile kir ve buzlanma engellenir.
2- Kaplama, boyama, sertleştirme, yağlama vb.
3- Naylon, kağıt, özel malzeme ile su, meyve suyu vb. yiyecek, içeceklerin ambalajlanması
4- Vakumlu yiyecek ambalajları
5- Lamba
6- Sıvıya maruz kalan kameraların ince zarla kaplanması
7- Boyama, kaplama

2.31. Gözenekli Malzeme

A- Bir nesneyi gözenekli yapmak veya tamamlayıcı gözenekli elemanlar kullanmak.

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

B- Bir nesne halen gözenekli ise, gözenekleri önceden bir miktar madde ile doldurmak.

Örnekler:

1- Elek sistemleri, süzgeç
2- Sargı bezi, elbise vb. müzik aletleri
3- Eşya ya da takılara gözenek yapmak (ağırlık vb. kazanç)
4- Bulaşık süngeri veya teli
5- Yüzeylere benekli model süsler oluşturmak (oyuncak vb.)
6- Islak mendil, ilaçlı bezler
7- Yağlı keçe sistemi

2.32. Renk Değiştirme

A- Bir nesne veya çevresine ait rengi değiştirmek
B- Bir nesne veya çevresinin yarı saydamlık derecesini değiştirmek
C- Görünmesi zor bir nesne veya işlemi gözlemlemek için renk katkı maddeleri kullanmak
D- Bu tür katkı maddeleri hali hazırda kullanılıyorsa parlak iz ya da iz atomlarına yer vermek

Örnekler:

1- Trafik ve uyarı levhaları
2- Trafik lambaları, makinaların başlama-durdurma düğmeleri, tehlike kolları
3- Araçlardaki gösterge panelleri, sayaçlar, saat vb.
4- Makine yağ göstergesi, mutfak eşyaları (mixer, fırın)
5- Şeffaf bandaj
6- Pil doluluk oranını ölçmek amacıyla pil üzerindeki renkli sistemler

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

7- Tehlike işaretleri, basınç, sıcaklık vb. göstergeler
8- Sızıntı olan bir tank renkli sıvı ile doldurularak sızıntı, kaçak kolayca tespit edilebilir.

2.33. Homojenlik

A- Ana nesne ile etkileşim halinde olan nesneler, ana nesne ile aynı malzemeden (veya benzer özellikli) yapılmalıdır.

Örnekler:

1- Kaynatılacak iki parçanın birbiriyle aynı ya da yakın özellikte olması
2- Piston ve silindir aynı özellikte olmalıdır
3- İki dişli, cıvata somun, kavrama, vb. aynı özellikte olmalıdır
4- Aynı ve benzer kültürdeki insanlar arkadaş olabilir

2.34. Parçaları Atma ve Yeniden Ele Alma

A- Bir nesnenin elemanı, fonksiyonunu tamamladıktan veya kullanım dışı olduktan sonra sistemden çıkarılır (iptal edilerek, çözerek, buharlaştırarak) veya çalışma süresi boyunca modifiye edilir.
B- Bir nesnenin kullanılan parçaları çalışırken onarılmalıdır.

Örnekler:

1- Kesici takımların bilenmesi veya değiştirilmesi
2- Şarj edilebilen veya edilemeyen piller
3- Uzay araçlarının yakıt tankı
4- Roketlerde birden çok yakıt tankı olması ve ağırlık kazanmak için boşalan tankların atılması
5- Motorun kullandıkça açılması performansının artması

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

6- Giyim eşyalarının insanın üzerine zamanla tam olması

2.35. Özelliklerin Dönüşümü (Parametre Değişikliği)

A- Sistemin fiziksel halini değiştirmek.
B- Derişim veya yoğunluğu değiştirmek.
C- Esneklik derecesini değiştirmek.
D- Sıcaklık veya hacmi değiştirmek.

Örnekler:

1- Boyayı toz halinde üretip kimyasal sıvılarla kullanmak
2- Metallerin eritilip yeni parça üretilmesi
3- Sıvıların katı halde kullanılması
4- İnce tellerden çok sarımlı halatlar oluşturma
5- Monitördeki piksel sayısını arttırma
6- Basınç ve kuvvet arttırma
7- Ayarlanabilir koltuk, direksiyon, oyuncak vb.
8- Küresel mafsal
9- İletken bir sıvı konsantresini değiştirerek iletkenlik oranını değiştirmek

2.36. Hal Değişimi

A- Hal değişimini kullanmak (hacim değişikliği, serbest kalma, ısının soğurulması gibi).

Örnekler:

1- Buz kullanarak yaylı montajları kolayca yapmak
2- Su kaynatarak odadaki nem ihtiyacını karşılamak
3- Odadaki oksijen miktarını ayarlayan sistemler

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

4- Kışın buzlanan yollara tuz atmak
5- Soğutma sistemleri
6- Lehim, kaynak vb. işlemler
7- Isı ile eriyen gübre malzemeleri

2.37. Isıl Genleşme

A- Malzeme sıcaklığını değiştirerek genleşme ve büzülmeyi kullanmak.
B- Farklı ısıl genleşme katsayılı çeşitli malzemeler kullanmak.

Örnekler:

1- Isıya duyarlı malzeme (plastik vb.) kullanarak yangın uyarımlı sistemler geliştirmek
2- Cıva ile termometre yapmak
3- Isıya duyarlı kapak sistemleri (sera)
4- Kayış kasnak gerdirme tertibatını tamamen ısıl genleşme büzülme ile tasarlamak
5- Isıl duyarlılığı zıt malzemeler kullanarak elektrik tellerindeki istenmeyen sarkma veya kopmaları önlemek. Farklı ısıl genleşme katsayılı malzemeler bağlanırsa sıcak havalarda parçalardan biri uzadığında diğeri büzülür ve böylece de uzunluk sabit kalır)
6- Yataklamalarda farklı ısıl genleşme katsayılı malzemeler kullanılır. Optimum yataklama sıcaklığı elde etmek amaçlanır.

2.38. Kuvvetli Oksitlendirme (Oksijen Sağlama)

Bir oksidasyon düzeyinden yüksek düzeye geçişler şu şekilde gerçekleşir:

1- Oksijen oluşturucuya çevre havası sağlamak
2- Oluşturucudan oksijen sağlamak
3- Oksijeni iyonize edilmiş oksijene dönüştürmek

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

4- İyonize edilmiş oksijeni ozon ile oksijene dönüştürmek
5- Ozon şeklindeki oksijenden ozon elde etmek
6- Ozonu tekil oksijene dönüştürmek

Örnekler:

1- Oda, sınıf, araç vb. yerleri havalandırmak
2- Oksijen kaynağı, yanma vb.
3- Temizlik için ozon kullanmak

2.39. Nötr (Etkisiz, Zararsız) Çevre

A- Normal bir çevreyi nötr bir çevreye dönüştürmek.
B- Bir nesneye nötr madde veya katkılar eklemek.
C- Bir işlemi dış ortamdan bağımsız uygulamak.

Örnekler:

1- Astronotların uzaydaki basınçtan etkilenmemeleri için astronot kıyafeti giymesi
2- Aşınma yüzeylerini yağ ile nötr hale dönüştürmek
3- Kaynak dikiş oksitlenmesini önlenmek için argon gazı kullanmak
4- Her türlü karantina veya korunma işlemleri
5- Kapalı sistem içindeki yanma işlemi (içten yanmalı motorlar)
6- Kısmi yağlama sistemleri

2.40. Kompozit Malzemeler

A- Homojen malzemeler yerine kompozit malzemeler kullanmak.

EK-2. (Devam) 40 TRIZ Prensibi

Örnekler:

1- Buruşmuş kâğıt ve karton birleşimiyle mukavva oluşturmak
2- Kaplamalar
3- Bina girişleri (demir-beton)
4- Kesici uç (takım), mermi
5- Boruyla asit taşıma işleminde aşınmayı önleyen ve asitte çözülecek bir madde eklemek. Böylece asiste çözülen madde, boru yüzeyinde koruyucu kaplama görevi yapabilir.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : MAYDA, Murat

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 01.12.1981 Karaman

Medeni hali : Evli

Telefon : 0 545 200 1981

E-mail : muratmayda@gazi.edu.tr

Eğitim Derece	**Eğitim Birimi**	**Mezuniyet Tarihi**
Lisans	G.Ü. / Mak.Resim ve Konst. Öğrt.	2004
Yüksek Lisans	G.Ü. / Makine Eğitimi Bölümü	2007

İş Deneyimi	**Yer**	**Görev**
2001 – 2002	Makine proje ve müh./ Karaman	Tasarımcı
2009 ve halen	G.Ü. / T.E.F.	Araş. Gör.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Mayda, M., Borklu, H.R., "Web Tabanlı Makina Kavramsal Tasarımı", Politeknik Dergisi, Cilt:11, Sayı:4, S.353-363 (2008)
2. Mayda, M., Borklu, H.R., "Yeni Bir Kavramsal Tasarım İşlem Modeli", TUBAV Bilim Dergisi, Cilt:1, Sayı:1, S.13-25, (2008)
3. Mayda, M., Borklu, H.R., Mendi, F., "Ruppert Hız Mekanizmalarında Optimum Dişli Çark Boyutlandırılması İçin Yapay Sinir Ağları Kullanımı", Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 6, ,Sayı: 2, s. 1-18, (2009)

4. Mayda, M., Borklu, H.R., “Erken Tasarım Bilgisini Modelleme”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 8, No: 4, s.29-43 (2011)
5. Mayda, M., Borklu, H.R., “SysML Kullaranak Makine Tasarımı Modelleme”, SAVTEK 2010 (Savunma Teknolojileri Kongresi), ODTÜ, Haziran (2010)
6. Mayda, M., Borklu, H.R., “Kavramsal Tasarımda Zihin Haritalama ve TRIZ Kullanımı”, MATİM Dergisi, Cilt:13, No:1, 1-16, ODTÜ, Mayıs (2012)
7. Mayda, M., Borklu, H.R., “The Use Of QFD, TRIZ and SysML in Conceptual Design Process”, 2nd International Scientific Conference on Engineering ”Manufacturing and Advanced Technologies”, MAT2012, s. 434-437, 22-24 November (2012)