

**HAVA VE YER ARAÇLARININ ARAYÜZ TASARIMININ  
ENİYİLENMESİ**

**Mehmet Burak ŞENOL**

**DOKTORA TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2012  
ANKARA**

Mehmet Burak ŞENOL tarafından hazırlanan “HAVA ve YER ARAÇLARININ ARAYÜZ TASARIMININ ENİYİLENMESİ” adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr.Mustafa KURT .....

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Doç.Dr.Metin DAĞDEVİREN .....

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Hasan BAL .....

İstatistik Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof.Dr.Mustafa KURT .....

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof.Dr.Fulya ALTIPARMAK .....

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof.Dr.Ömer Faruk BAYKOÇ .....

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç.Dr. Ergün ERASLAN .....

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, B.Ü.

Tarih: ...../...../2012

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

Prof. Dr. Bilal TOKLU .....

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.

Mehmet Burak ŞENOL

**HAVA VE YER ARAÇLARININ ARAYÜZ TASARIMININ  
ENİYİLENMESİ  
(Doktora Tezi)**

**Mehmet Burak ŞENOL**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
Nisan 2012**

**ÖZET**

Bir sistemle kullanıcı arasındaki iletişim arayüzler vasıtası ile sağlanır. İnsan-makine ya da sistem etkileşiminde operatör hatalarının önlenmesi için kullanıcı-dostu arayüzler tasarlanmalıdır. Bu tezde arayüz tasarım problemi Nitel “İnsan Faktörü, Ergonomi, Tasarım Kriterleri, Kullanılabilirlik, vb.” ve Nicel “AHP, ANP, Bulanık PROMETHEE, ÇKKV, vb.” açıdan kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Çeşitli modeller “KAP, STYP, vb” incelenmiş ve “Göreceli Yerleşke Optimizasyonu Modeli ve Aşamalı Çözüm Yaklaşımı” geliştirilerek uygulanmıştır. Sonuçta hava araçları için “Nitел, Nicel, Birleşik, Göreceli” arayüz tasarımları elde edilmiştir.

Nitel ve Nicel yaklaşımların farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Kullanıcı memnuniyet kriterlerine göre iki yaklaşım sonuçlarının birleştirilmesiyle elde edilen “Birleşik Tasarım”ın daha kullanılabilir olacağını önerilmektedir. Bu hipotezimizi test etmek için ANP ve F-PROMETHEE yöntemiyle “en kullanıcı-dostu arayüz” sıralaması (1) Birleşik, (2) Nicel, (3) Nitel tasarımlar şeklinde belirlenmiştir. Sonuçlar hipotezimizi desteklemektedir.

Ayrıca arayüz yerleşke optimizasyonunda kullanılabilecek yeni bir model geliştirilmiştir. Nesnel arasındaki akış değerlerinin yanında nesnelerin birbirlerinden etkileşimleri nedeniyle birbirlerine “göre” muhtemel konumları; “Görece Kısıtları” da modele eklenerek yerleşke problemleri daha gerçekçi bir şekilde çözülebilir.

“Aşamalı Yöntem”de ise nesne kümelerine göre yerleşke problemi her bir küme için sırayla çözümlenir. Bilinmeyen sayısı fazla olan orjinal problemi çözmek yerine, kümeleme algortimalarıyla bilinmeyen sayısının daha az olduğu problemler oluşturulabilir. Optimum çözümün bulunarak çözüme kısa sürede ulaşılması yöntemlerimizin etkinliğini ortaya koymuştur.

Öznel değerlendirmelere dayanan literatürdeki kullanılabilirlik değerlendirme ve tasarım yöntemlerinin aksine, yöntemlerimizle tasarımda subjektiflikten uzaklaşarak daha nesnel sonuçlar elde edilebilir, çünkü geliştirip uyguladığımız tüm yöntemler analitik esaslara dayanmaktadır.

**Bilim Kodu** : 906.1.148  
**Anahtar Kelimeler** : Arayüz Tasarımı, İnsan Faktörü, Yerleşke Modelleri, ANP, F-PROMETHEE, ÇKKV, STYP.  
**Sayfa Adedi** :145  
**Tez Yöneticisi** : Prof.Dr.Mustafa KURT, Doç.Dr.Metin DAĞDEVİREN

**OPTIMIZATION of AIRCRAFT and VEHICLE INTERFACE DESIGN  
(Ph.D. Thesis)**

**Mehmet Burak ŞENOL**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**April 2012**

**ABSTRACT**

The dialogue between the operator and any system is provided by an interface. To prevent human error in human-machine-system interactions user-friendly interfaces must be designed. In this thesis, interface design problem is evaluated comprehensively from qualitative “Human Factors, Ergonomy, Design Criteria, Usability, etc.” and quantitative “AHP, ANP, F-PROMETHEE, MCDM, etc.” aspects. Various models “QAP, CFL, etc.” are studied and “Relative Layout Optimization Model and Sequential Approach” are developed. Finally “Qualitative, Quantitative, Unified, Relative ” interfaces were gained.

Qualitative and quantitative approaches have different advantages and drawbacks. We proposed that “Unified Design” gained by combining results from two approaches will be more user-friendly. To test this hypothesis, “the most useful interface design” ranking is determined as (1) Unified, (2) Quantitative and (3) Qualitative Interface Designs. Results corroborated our hypothesis.

Furthermore an interface layout design model is developed. Besides to flow values, interactions between the items may affect locations

relatively. By including “Relative Criteria” constraints, layout problems can be solved in a more realistic manner.

In the “Sequential Approach” layout problem is sequentially solved for every cluster. Rather than solving the original problem of many unknown variables, small size problems are constituted by clustering algorithms. Reaching the optimality in a short time reveals the effectiveness of our methods.

Contrary to subjectivity of usability evaluation and design techniques in the literature, more objective results can be gained with our approaches, because the methods we have developed and applied are all analytical.

**Science Code** : 906.1.148  
**Key Words** : Interface Design, Human Factors, Layout Models, ANP, F-PROMETHEE, MCDM, CFL.  
**Page Number** :145  
**Adviser** : Prof.Dr.Mustafa KURT, Doç.Dr.Metin DAĞDEVİREN

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli Hocam Prof.Dr. Mustafa KURT ve Doç.Dr.Metin DAĞDEVİREN'e yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Prof.Dr.Fulya ALTIPARMAK ve Prof.Dr.Hasan BAL'a,

Tez kapsamında yurt dışında araştırma yapmam için "2214-Yurt Dışı Araştırma Bursu"nu sağlayan TÜBİTAK'a,

Ayrıca Wayne State Üniversitesi – ABD, "Industrial & Systems Engineering" bölümünde yaptığım "Doktora Araştırma"sında bana rehberlik eden değerli Hocam Dr. Ekrem Alper MURAT'a,

Araştırmamda tecrübelerinden istifade ettiğim 5'inci Ana.Bkm.Mrk.K.İğında görevli tüm çalışma arkadaşlarıma,

Çocukluğumdan itibaren en iyi şekilde yetişmem için daima fedakarlık eden annem ve babam Ayşe ve Mustafa ŞENOL'a, sevgili ablalarım Ayten ÖZÇELİK ve Şule ŞENOL'a, abim Ünal ÖZÇELİK'e,

Manevi desteğiyle her zaman yanımda olan eşim Burcu ŞENOL'a, Doktora süresince araştırma yapmak için "oyun zamanlarından" çaldığım biricik çocuklarım Mustafa Burak ile Mehmet Furkan ŞENOL'a

**Tüm kalbimle hürmet ve şükranlarımı sunarım,  
mbŞENOL.**



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ .....	1
2. HAVACILIK ve KULLANILABİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ .....	4
2.1. Hava Aracı Kazalarının Nedenleri .....	4
2.2. Kullanıcı-Dostu Göstergelerin Özellikleri .....	6
2.3. Uygun Gösterge Türünün Belirlenmesi .....	11
2.3. Kullanılabilirlik Değerlendirme Teknikleri .....	11
2.4. Kullanılabilirlik Değerlendirme Tekniklerinin Uygulanabilirliği .....	13
2.5. Kullanılabilirlik ve Tasarım Süreci.....	14
3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERMEDE TEST YÖNTEMLERİ.....	16
3.1. Karar Vericinin Fayda Fonksiyonun Test Edilmesine Yönelik Yaklaşımlar .....	17
3.2. Teori .....	19
3.3. X1, X2 ve Y'nin Belirlenmesi .....	20

**Sayfa**

3.4. Test Yöntemleri .....	26
3.4.1. Kuasi-konkavlık durumunun testi .....	26
3.4.2. Kuasi-konvekslik durumunun testi.....	27
3.4.3. Bütünleşik test.....	28
3.5. Testlere Yönelik Yapılan Uygulama Sonuçları .....	30
3.5.1. Kuasi-konkavlık durumu.....	31
3.5.2. Kuasi-konvekslik durumu .....	32
3.5.3. Bütünleşik test .....	32
4. TASARIM YAKLAŞIMLARI ve ARAŞTIRMA BULGULARI .....	34
4.1. Nicel Arayüz Tasarımı Yaklaşımı .....	35
4.2. Nitel Arayüz Tasarımı Yaklaşımı .....	37
4.3. Birleşik Arayüz Tasarım Yaklaşımı .....	39
4.4. Nicel Yaklaşımın Sonuçları.....	41
4.5. Nitel Yaklaşımın Sonuçları .....	49
4.6. İki Yaklaşım Sonucunun Karşılaştırılması .....	54
4.7. İki Yaklaşım Sonucunun Mevcut Kokpit ile Karşılaştırılması .....	56
4.8. Birleşik Yaklaşımın Sonuçları .....	57
5. ÇOK KRİTERLİ SEÇİM YÖNTEMLERİ ile EN İYİ TASARIMIN TESPİTİ. 61	
5.1. AHP Yöntemi.....	61
5.2. ANP Yöntemi.....	65
5.3. PROMETHEE Yöntemi .....	67
5.4. Bulanık PROMETHEE (F-PROMETHEE) Yöntemi .....	76
5.5. ANP ve F-PROMETHEE Uygulaması .....	80

	<b>Sayfa</b>
5.5.1 Kriterlerin belirlenmesi.....	82
5.5.2 Kriter ağırlıklarının hesaplanması.....	83
5.5.3. Bulanık PROMETHEE.....	87
5.5.4 Sonuç.....	90
6. GÖRECELİ YERLEŞKE OPTİMİZASYONU.....	93
6.1. Yerleşke Optimizasyonunun Amacı.....	93
6.2. Literatürde Bulunan Çalışmalar.....	94
6.2.1. Karesel atama problemi.....	94
6.2.2. Sürekli tesis yerleşim modelleri.....	97
6.3. Arayüz Tasarım Problemine Yaklaşım ve Kısıtlar.....	99
6.4. Göreceli Yerleşke Optimizasyon Yöntemi.....	101
6.4.1. Görece kısıtları ve “k” görece indeksi.....	102
6.4.2. Göreceli yerleşke optimizasyon modeli.....	103
6.5. Problemin Çözümü.....	109
6.6. Kümeleme Algoritması ve Aşamalı Çözüm Yaklaşımı.....	119
7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	124
KAYNAKLAR.....	130
EKLER.....	142
EK-1 Anket Formları.....	143
ÖZGEÇMİŞ.....	144

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Ortalama reaksiyon süreleri (ms) ve hata yüzdeleri (%) .....	11
Çizelge 3.1. Kuasi-konkav olmama durumunun tespitinde yapılan karşılaştırma miktarları (10 problem için) .....	31
Çizelge 3.2. Kuasi-konveks olmama durumunun tespitinde yapılan Karşılaştırma miktarları (10 problem için).....	32
Çizelge 3.3. Bütünleşik Testte (BT) yapılan karşılaştırma miktarları .....	33
Çizelge 4.1. Göstergeler .....	36
Çizelge 4.2. Kullanıcı memnuniyeti değerlendirme kriterleri .....	40
Çizelge 4.3. Kriterlere göre göstergelerin aldığı puanlar .....	41
Çizelge 4.4. Çözüm aşamaları .....	45
Çizelge 4.5. Göstergelerin yerleşim sırası .....	46
Çizelge 4.6. Görülebilirlik puanları (L:Sol, R:Sağ Koltuk) .....	46
Çizelge 4.7. Nicel yaklaşım sonuçları .....	47
Çizelge 4.8. Anahtar cümlelere ait tercih puanları .....	49
Çizelge 4.9. Anahtar cümlelerin önem sırasına göre dizilişi.....	51
Çizelge 4.10. Kullanıcı memnuniyet puanları.....	58
Çizelge 4.11. Benzerlik oranları (n “benzerlik” / 36) .....	60
Çizelge 5.1. Önem skala değerleri.....	64
Çizelge 5.2. Veri matrisi .....	70
Çizelge 5.3. Tercih fonksiyonları .....	72
Çizelge 5.4. Temel bulanık işlemler .....	78
Çizelge 5.5. Arayüz değerlendirme, sıralama kriterleri ve tanımları .....	82

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 5.6. Kriterler için ikili karşılaştırma matrisi ve önem ağırlıkları.....	83
Çizelge 5.7. Kriterler için göreceli ağırlıklar.....	85
Çizelge 5.8. AHP ve ANP ağırlıkları.....	86
Çizelge 5.9. Bulanık ifadelerle yapılan değerlendirmeler.....	88
Çizelge 5.10. F-PROMETHEE işlem adımları.....	89
Çizelge 5.11. Bulanık sayıların durulaştırılmış hali.....	90
Çizelge 5.12. Alternatifler için akış değerleri.....	91
Çizelge 6.1. i/j elemanın göreceli durumları (örnek).....	103
Çizelge 6.2. Göstergeler için görece verisi.....	112
Çizelge 6.3. Göstergeler için ağırlıklar.....	113
Çizelge 6.4. Mekanik göstergeler için koordinatlar.....	115
Çizelge 6.5. Göstergeler için koordinatlar.....	117
Çizelge 6.6. Sonuçların karşılaştırması.....	122

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Pozisyon göstergesi tipleri .....	8
Şekil 2.2. Dual durum (Taluka ve ark.,2000).....	9
Şekil 2.3. Kullanılabilirlik değerlendirme teknikleri .....	14
Şekil 3.1. Kuasi-konkav olmama durumunun tespiti .....	23
Şekil 3.2. Kuasi-konveks olmama durumunun tespiti.....	25
Şekil 4.1. Göstergelere ait alternatif konumlar .....	36
Şekil 4.2. Alternatif göstergelerin iki kritere göre grafiği .....	42
Şekil 4.3. Gösterge paneli tasarımı (Nicel).....	48
Şekil 4.4. Gösterge paneli tasarımı (Nitel) .....	53
Şekil 4.5. Gösterge paneli tasarımı (Birleşik).....	59
Şekil 5.1. Ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi.....	73
Şekil 5.2. “a” alternatifi için hesaplanan pozitif ve negatif üstünlük .....	74
Şekil 5.3. $x=(1,0.7,0.7)$ Bulanık sayısının doğrusal L ve R için gösterimi.....	77
Şekil 5.4. Arayüz seçim problemi için sunulan yaklaşımın akış şeması .....	80
Şekil 5.5. Karar hiyerarşisi .....	83
Şekil 5.6. Kriterler arasındaki ilişkiler .....	84
Şekil 5.7. Uygulamada kullanılan bulanık sayılar.....	87
Şekil 6.1. İki ve üç boyutlu ortam için örnek konumlar .....	102
Şekil 6.2. i ve j elemanın göreceli durumları .....	102
Şekil 6.3. Panel üzerindeki koordinatlar.....	104

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.4. Panel dışında bulunma durumu (Kısıt 8.2.,8.3.) .....	104
Şekil 6.5. Göstegelerin üstüste çakışma durumu (Kısıt 8.4.) .....	106
Şekil 6.6. Göstegeler için maksimum boşluklar (Kısıt 8.5.) .....	107
Şekil 6.7. Göreceli yerleşke optimizasyonu için akış şeması .....	109
Şekil 6.8. Göreceli optimizasyon ile panel tasarımı.....	118
Şekil 7.1. Arayüz tasarım yöntemleri .....	125

## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>A</b>	İkili karşılaştırma matrisi
<b>A<sub>i</sub></b>	Alternatifler
<b>B</b>	Normalleştirilmiş ağırlık vektörlerinden oluşan matris
<b>b</b>	Sıradaki en iyi sınıf indeksi
<b>C<sub>i</sub></b>	i sınıfına yerleştirilen alternatif
<b>C<sub>ij</sub></b>	Malzeme taşıma maliyeti
<b>C<sub>pqrs</sub></b>	p ve r tesislerini q ve s bölgelerine atamanın maliyeti
<b>d</b>	Mesafe
<b>F(m,a,b)</b>	Yager indeksi
<b>Φ<sup>+</sup>, Φ<sup>-</sup></b>	Pozitif ve negatif üstünlükler
<b>Φ<sup>net</sup></b>	Tam öncelik değeri
<b>g<sub>c</sub></b>	Kriter (c) için memnuniyet puanı
<b>H</b>	Panelin boyu
<b>h<sub>i</sub></b>	Gösterge (i)'nin boyu
<b>K<sub>i</sub></b>	Kriter (i)
<b>k</b>	Görece indeksi, elemanların birbirlerine göre konumlarını, pozisyonlarını belirten indeks



<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>L</b>	u-tipi tercih fonksiyon parametresi
<b><math>\lambda</math> enb</b>	A matrisinin en büyük özdeğeri
<b>m</b>	v-tipi tercih fonksiyon parametresi
<b><math>\mu, \beta</math></b>	Nesneler arasındaki en fazla boşluk
<b>N</b>	Potansiyel yerleşim alanı, tesis sayısı
<b>P</b>	Tercih fonksiyonu
<b>p, q</b>	Seviyeli tercih fonksiyon parametresi
<b><math>\pi(a,b)</math></b>	Tercih indeksi
<b><math>\sigma</math></b>	Gauss tercih fonksiyon parametresi
<b>r,s</b>	Lineer tercih fonksiyon parametresi
<b>S</b>	Konveks domine olmayan alternatifler
<b>SA<sub>ip</sub></b>	Gösterge (i)'nin konumunun pilot (p) için kullanıcı memnuniyet ortalaması
<b>SM<sub>i</sub></b>	Gösterge (i)'nin konumunun genel memnuniyet puanı
<b>T</b>	Sınıfı belirsiz alternatifler kümesi
<b>u(x)</b>	Karar verici fayda fonksiyonu
<b>W</b>	Panelin eni
<b>w<sub>i</sub></b>	Gösterge (i)'nin eni
<b>w<sub>1</sub></b>	Öncelik, ağırlık (AHP) vektörü
<b>w<sub>2</sub></b>	Normalleştirilmiş (ANP) ağırlık vektörü
<b>X<sub>i</sub></b>	Gösterge (i)'nin karar değişkeni
<b>x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub></b>	Tesis, gösterge vb. koordinatları

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>AHP</b>	Analitik Hiyerarşi Prosesi (Analytic Hierarchy Process)
<b>ANP</b>	Analitik Ağ Prosesi (Analytic Network Process)
<b>BT</b>	Bütünleşik test
<b>BO</b>	Benzerlik oranı
<b>ÇKKV</b>	Çok Kriterli Karar Verme (Multi Criteria Decison Making)
<b>EGT</b>	Egzoz gaz sıcaklık göstergesi (Exhaust gas temperature)
<b>FAA</b>	Federal Havacılık Yönetimi (Federal Aviation Administration)
<b>FMS</b>	Uçuş Yönetim Sistemi (Flight Management Systems)
<b>F - PROMETHEE</b>	Bulanık PROMETHEE
<b>GA</b>	Genetik algoritma
<b>GAIA</b>	Etkileşimli yardımın geometrik analizi
<b>GPS</b>	Küresel konumlandırma sistemi
<b>IFR</b>	Görmeyerek uçuş kuralları (Invisible flight rules)
<b>KAP (QAP)</b>	Karesel Atama Problemi (Quadratic Assignment Problem)
<b>KKK (QSC)</b>	Karesel Küme Kaplama (Quadratic Set Covering)
<b>KS</b>	Kart sınıflandırması
<b>KV</b>	Karar verici

**Kısaltmalar****Açıklama****MFD**

Çok fonksiyonlu gösterge  
(Multi-function display unit)

**NP-Zor (NP-Hard)**

Çözümü için polinom zamanlı bir  
algoritma bulunmayan problem sınıfı

**PROMETHEE**

Değerlendirmelerin güçlendirilmesi  
için tercih sıralama yöntemi  
(Preference Ranking Organization  
Method for Enrichment Evaluations)

**STYP (CFL)**

Sürekli Tesis Yerleşim Problemi  
(Continuous Facility Layout)

**TO**

Tutarlılık Oranı

**VFR**

Görerek uçuş kuralları  
(Visual flight rules)

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmanın amacı kullanıcı perspektifini tasarıma yansıtacak şekilde analitik tekniklerden oluşan bir arayüz tasarım yöntemi geliştirmektir. Arayüz tasarım literatüründeki metodolojik yaklaşımlar yetersizdir. Böyle bir konu literatürde kullanılabilirlik ve insan faktörü kapsamında incelenen ancak çeşitli analitik yöntemlerle de ele alınması gereken bir problemdir. Literatürdeki yaklaşımlar sistemin bütünü tasarımında genellikle tek bir kriteri göz önünde tutmakta ya da tek bir göstergenın tasarlanmasına ve kullanılabilirlik değerlendirilmesine odaklanmakta arayüzdeki çeşitli göstergelerin birbiriyle etkileşimini ve sistemin bütünlüğünü göz ardı etmektedir.

Kullanılabilirlik değerlendirme tekniklerinin uygulanmasında çeşitli güçlükler vardır. Bu yöntemlerle birbirleriye çelişen çok çeşitli kullanılabilirlik kriterleri karşılaştırılmasına rağmen, kullanılabilirlik değerlendirme teknikleri genellikle analitik esaslara dayanmamaktadır. Bu tekniklerin uzman/denek görüşlerine bağlı öznel kararlar içermesi sebebiyle uygulamalarda yanlış sonuçlara ulaşılma ihtimali vardır. Çalışmamızda önerdiğimiz tüm yöntemler ise analitik esaslara dayanmaktadır. Yaptığımız araştırmada arayüz tasarımı konusu çok yönlü olarak ele alındı; bu problemin çözümünde nitel açıdan “İnsan faktörü, Ergonomi, Tasarım Kriterleri, Kullanılabilirlik, Kart Sınıflandırması” ve nicel açıdan “Çok Kriterli Karar Verme (Multi Criteria Decision Making), Analitik Hiyerarşi ve Ağ Prosesi (AHP, ANP), Bulanık PROMETHEE, Göreceli Yerleşke Optimizasyonu, Aşamalı Çözüm Yaklaşımı” gibi çeşitli analitik yöntemler, optimizasyon modelleri geliştirilerek uygulandı.

Doktora çalışmasındaki örnek uygulamalar çeşitli hava araçları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kullanıcı-dostu arayüz tasarımı için yeni bir yöntemin geliştirilmesi, hava aracı gösterge panellerine yönelik tasarımların yapılması bu araştırmanın temel konusudur. Sabit ya da döner kanat hava araçlarında bulunan kokpitler insan-makine etkileşiminde en karışık süreçlerin gerçekleştiği arayüzlerdir. Uçuş esnasında ilk çalıştırma ve kalkıştan inişe

kadar gerçekleştirilen tüm manevralarda insan hatalarının sonuçları yıkıcı, hatta öldürücü olabilir. Ayrıca yer araçlarında, özellikle de insansız kullanım için tasarlanmış olan araçların yönlendirilmesi sırasında operatörün yapacağı hatalar aracın ve çevrenin zarar görmesine neden olabilir. Bu durum ise yürütülen operasyonun başarısını tehlikeye atacaktır. Hava ve yer araçlarıyla kullanıcı (pilot, araç operatörü, teknisyen) arasındaki diyalog bir arayüz (kokpit, ekran, gösterge paneli, yer kontrol istasyonu) vasıtası ile sağlanmaktadır. Hava ve yer araçlarında meydana gelebilecek bu tür hataların sebepleri kötü tasarlanmış arayüzlerde aranmalıdır.

Bazı entegre göstergeler hava ve arazi koşullarına ait bilgileri eş zamanlı olarak sağlayabilmektedir. Belirli göstergelerde meydana gelen bu tür gelişmeler kullanıcıların uçuş kritik konularda karar verme sürecini bir ölçüde iyileştirmiştir. Ancak bu yeni göstergelerin de kokpitlere entegrasyon sürecinde kontrol sırası yeniden planlanmamıştır. Bu göstergeler panelde, kabinde boş yerlere yerleştirilmiş ve kokpit içindeki diğer göstergelerle kullanılabilirlik açısından entegrasyon göz ardı edilmiştir. Bu sistematik olmayan yaklaşım karmaşık gösterge düzenlerine, dizilimlerine yol açmıştır. Hava aracı pilotajı yüksek dikkat gerektirir. Sistemin bütünü yerine, sadece belirli göstergelerde meydana gelen gelişmeler hava aracı pilotajı ve kokpit kullanılabilirliğinin iyileştirilmesi için yeterli değildir. Kaza nedenleri incelendiğinde insani faktörlerin ön planda olduğu görülmektedir. Pilotlar aynı anda birden fazla göstergeye bakmak zorundadırlar ve sadece belirli göstergelerdeki iyileştirmeler sistemin kullanılabilirliğini istenilen seviyede artırmamaktadır. Bu nedenle göstergeleri münferiden geliştirerek daha kullanılabilir hale getirmenin yanında, göstergelerin tamamının birbirleri ile entegrasyonuyla oluşturulacak gösterge paneli kullanıcı dostu bir tasarıma sahip olmalıdır. Göstergeler (analog ve dijital) fonksiyonel ve işlevsel açıdan kokpit içinde birbirleriyle uyum içerisinde ve sistemin kullanılabilirliğini eniyileyecek şekilde yerleştirilmelidir.

Nitel ve nicel yaklaşımların farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Sadece nitel ya da nicel yaklaşım sonuçlarını tek başlarına doğru kabul etmek yerine, her iki yaklaşımda elde edilen sonuçlar birleştirilmesiyle elde edilecek tasarımların daha kullanıcı dostu olacağını önermekteyiz. Araştırmamız yedi bölümden oluşmaktadır. İkinci Bölümde hava aracı kaza nedenleri ile havacılıkta kullanılabilirlik değerlendirilmesinde uygulanabilecek teknikler anlatılmıştır. Üçüncü Bölümde Çok Kriterli Karar Verme de (ÇKKV) fayda fonksiyonu formunun tespitinde kullanılacak yöntemleri sunulmuştur. Nicel ve Nitel tasarım yaklaşımları Dördüncü Bölümde açıklanmıştır. Beşinci Bölümde AHP, ANP, PROMETHEE, F-PROMETHEE gibi yöntemler ile bu yöntemlerin arayüz tasarımlarının sıralanmasına yönelik uygulaması verilmiştir. ANP ve F-PROMETHEE çalışması sonunda elde edilen sonuçlar teorimizi ve yöntemlerimizi desteklemektedir.

Altıncı Bölümde hava aracı arayüz tasarımı için yerleşke optimizasyonunda kullanılabilecek yeni bir model sunulmuştur. Bu model iki ya da üç boyutlu göreceli çeşitli tasarımlarda da (araba motoru, elektrik devresi, çip vb.) uygulanabilir. Sadece yerleşecek nesnelere arasındaki akış değerlerini modelde dikkate almak yerine; yerleştirilecek elemanların birbirlerinden etkileşimleri nedeniyle birbirlerine göre muhtemel konumları hakkında bilgi sahibi isek “Görece Kısıtları” da modele eklenerek yerleşke tasarım problemleri daha doğru bir şekilde çözülebilir. Burada yeni tanımladığımız görece kısıtları çözüm uzayının daraltılmasında ve çözüme hızlı bir şekilde ulaşılmasında adeta tam sayılı programlamadaki “kesme kısıtı” gibi hareket etmiştir. Hem optimum çözümün bulunması, hem de bu çözüme kısa sürede ulaşılması “görece kısıtlarının” etkinliğini ortaya koymuştur. Ancak yine de yerleştirilecek eleman sayısındaki artışa göre problemin karmaşıklık seviyesi (NP-Zor) nedeniyle optimum çözüm bulunamayabilir. Bu tür NP-Zor modeller ve çözüm yöntemleri tesis yerleşimi konusunda yapılan çalışmalarda detaylı bir şekilde işlenirken, bu modeller üzerine kattığımız yeni yaklaşım ise “Görece Kısıtları” ve gösterge (tesis) kümelerinin birbirlerine göre sırayla çözümünü içeren “Aşamalı Yöntem” olmuştur.

## 2. HAVACILIK ve KULLANILABİLİRLİK DEĞERLENDİRMESİ

### 2.1. Hava Aracı Kazalarının Nedenleri

Kokpit içerisinde pilotlar üzerinde aşırı şekilde zihinsel yüke sebebiyet verebilecek birçok sistem ve bu sistemlere ait ses veya görsel uyarılar; sistem durum (sıcaklık, basınç, miktar, voltaj, güç vb.) göstergeleri, uçuş göstergeleri (pozisyon, irtifa, manevra) vb. bulunmaktadır (Stokes ve Wickens, 1988). Bu sistemlere ait göstergelerin takibi sırasında karşılaşılan zihinsel yük ve sonrasında yapılan insan hataları kazalara neden olabilmektedir. Örneğin Aralık 1995'de American Hava Yollarına ait Boeing 757 uçağının Cali, Colombia'ya uçuşu sırasında, otomatik sistemlerle ilgilenirken dikkatleri dağılan pilotlar gösterge arayüz ve fonksiyonlarını yeterince iyi takip edememişlerdir. Pilotlar El Deluvio dağıının zirvesine doğru gittiklerini fark edememişler ve kazada 163 kişi ölmüştür (Strauch, 1997).

Kokpitlere yeni teknolojiler eklenilerek pilotların zihinsel yüklerinin azaltılmasına yönelik yapılan çalışmalar genellikle diğer yeni sistemlerin de kokpitlere eklenmesiyle etkisiz kalmaktadır (Smith, 1999). Bu yeni sistemlerin ve kokpit içerisindeki otomasyonun artırılmasının pilot performansı üzerindeki etkileri göz ardı edilmektedir. Nisan 1990'da, Hint Hava Yollarına ait Airbus A320 uçağı Bangalore, Hindistan hava alanına iniş sırasında piste yaklaşırken kaza yapmıştır. Hava aracı parçalanmış, 90 kişi ölmüştür. Kazanın muhtemel nedeni pilotların durumun ciddiyetini algılayamamaları ve derhal motor gücünü (thrust) artırmamalarıdır. Kaza öncesi son saniyelerde pilotlar otomatik uçuş sisteminin iniş sırasında niçin rölanti (idle\open) pozisyonunda olduğunu anlamaya çalışmaktadırlar (Funk ve ark.,1998). Burada bahsedilen kazalara benzer birçok uçak kazası gerçekleşmiştir. Ancak buna rağmen insan-kokpit arayüz etkileşimi konusunda yeterli seviyede araştırma yapılmamakta, günümüzde de insan kaynaklı hatalar ve pilotajdan kaynaklanan kazaların sıklıkla meydana geldiği görülmektedir.

Hava aracı sistemlerinin (mekanik, avyonik, navigasyonel) durumu konusunda yetersiz geri bildirimler, görüş yetersizliği ve zihinsel yükü azaltmayan kokpit tasarımları pilot-hava aracı etkileşim problemlerinin temel nedenleridir. Bu tür problemler ise durumsal farkındalık hatalarına ve sistem genelinde yetmezliklere, yanlış uygulamalara yol açabilir (Sarter ve ark.,1997).

Federal Havacılık Yönetimi (Federal Aviation Administration, FAA) İnsan Faktörleri Çalışma Raporu ölümcül kazaların % 70'nin uçuş ekibi ile modern kokpit arayüzleri arasındaki etkileşim problemlerinden ve insan hatalarından kaynaklandığını göstermiştir. Havacılıkta kullanılan sistemlerdeki standardizasyonun azlığı da hata miktarını artırmaktadır. Arayüzler hava aracı modellerine göre değişiklik göstermekte, farklı tipteki hava araçlarında çeşitli tür ve şekillerde arayüzler, göstergeler bulunabilmektedir. Çok çeşitli ve farklı arayüzlere uyum sağlanması pilot ve hava trafik kontrolcülerini için zordur (Singer, 1999). Ayrıca mevcut sistemlerin yerini alacak olan yeni sistem ve elemanların fonksiyon ve kullanılabilirliklerinin karşılaştırılması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Arayüzler için kullanılabilirlik değerlendirmelerinin bu sistemler kokpitlere yerleştirilmeden önce yapılmasıyla ileride karşılaşılabilecek operatör hataları da azaltacaktır.

Kullanıcı-dostu bir sistemde operatör ile araç arasındaki diyalog sezgiseldir. Bu nedenle kullanılabilir bir arayüz operatör ve araç arasında doğal bir iletişim sağlamalıdır. Kullanıcılar sistemle uyum içerisinde çalışabilmelidir.

Hava aracı güvertelerinin (kokpitlerin) tasarım sürecinde 1970'lere kadar etkili bir değişiklik olmamıştır. Ancak teknolojik gelişmelerle, dijital kokpitler ("glass" kokpit teknolojisi) ile 1970'lerin sonlarından itibaren kokpitlerin içinde önemli değişiklikler meydana geldi. Araştırmacılar belirli göstergelerin bilgi sunma karakteristikleriyle ilgilendiler (Jones ve ark., 1992). Bunlar;



- Grafik ya da metin (text) etkileri (Williams,1999)
- Dışarı-sı-ıçeride (outside-in) ya da ıçerisi dışarıda (inside-out) formatları (Johnson ve Roscoe, 1972)
- Araç-merkezli ya da dünya merkezli referanslar, dual göstergeler vb. (Tlauka ve ark., 2000)

Ancak bu yeni gösterge sistemlerinin hava aracına kurulumunda kullanılan yöntemlerde pek fazla değişiklik olmadı. Kokpitlerin ıçerisine bu son teknoloji ürünü yeni elemanlar ve sistemler eklenirken kullanılan tasarım ve uygulama yöntemleri 1960'larda kullanılan yöntemlerle aynıydı. Örneğin, karışık çok fonksiyonlu göstergeler basit analog göstergeler için geliştirilmiş yöntemler kullanılarak tasarlandı ve hava aracına takıldı. Boeing 757 ve 767'de birkaç gösterge yerine altı entegre gösterge kullanan sistemler bu yöntemlerle tasarlanmıştır. Sexton (1988) bu tür tasarımların pilotların zihinsel yüklerini hiçbir şekilde azaltmadığını ifade etmektedir. En üst seviyedeki insan-makine arayüzü uygulamalarından biri olan kokpitlerin tasarımında son 30 yıl ıçerisinde yaşanan büyük gelişmelere rağmen; göstergeler ve kontroller tek başlarına geliştirilmiş ve sistemin bütünü gözden kaçmıştır. Bu yeni göstergeler gösterge paneline ya da kokpitin diğer kısımlarına monte edilirken kullanılabilirlik çoğu zaman göz ardı edilmiştir. Adeta panel üzerinde neresi boş kalmışsa yeni cihazlar oralara takılmıştır. Bu da göstergelerin ve diğer kontrol elemanlarının takibini karmaşıklıştırarak zorlaştırmıştır.

## **2.2. Kullanıcı-Dostu Göstergelerin Özellikleri**

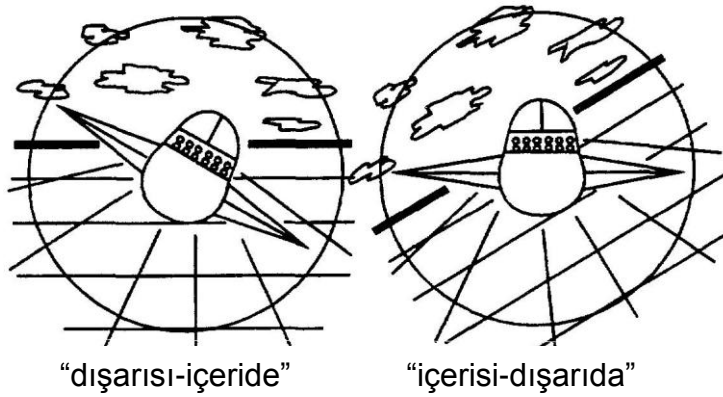
Havacılıkta kullanılan bir göstergeyi kullanışlı yapan birçok farklı parametre bulunmaktadır. Göstergelerden okunacak bilginin sunum karakteristiklerine yönelik özellikleri grafik ya da metin formları, referans çerçeveleri bu parametrelerdendir. Farklı gösterge verilerinin eş zamanlı sunumu dikkate alınması gereken bir diğer noktadır ve üç boyutlu uçuş ortamında durumsal

farkındalıkların artırılmasında etkilidir. Ayrıca verilecek görevlerin gerekleri göstergelerin veri sunma karakteristiklerini yakından ilgilendirir ve gösterge özelliklerini belirler.

Öncelikle, genel kanı grafiksel olarak sunulan bilgilerin üstünlüğü yönündedir. (DeSanctis, 1984, Tullis, 1981). Nawrocki (1972) önceden metin ve grafik şeklinde sunulmuş bilgilerin hatırlanmasında iki sunum şekli açısından dikkate değer bir fark bulamamıştır. Ayrıca resimlerle ifade edilen görevlerin gerçekleştirme zamanları daha kısa olmasına karşın, metinsel gösterimler daha yüksek doğrulukta sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır (Rigney ve Lutz, 1976, Stern, 1984).

Wickens ve Scott (1983) “grafik vs. metin” şeklinde sunulan bilginin etkinliğini artıracak iki faktör belirlemişlerdir. Uyarıcının formu (şekil, ses görüntü) ve kullanıcının bu formu bilişsel olarak işleme sürecindeki uyum ilk faktördür. Uzaysal süreçler içeren görevlerin metinsel gösterimler yerine grafiksel gösterimlerle daha iyi algılandığı önerilmektedir. İkinci önemli faktör ise farklı türdeki verileri eş zamanlı olarak sunarken sağlanan entegrasyonun derecesidir. Williams (1999) bu konuda grafik gösterimlerin metinsel gösterimler üzerindeki üstünlüğünü göstermiştir. Örneğin küresel konumlandırma (GPS) sistemleri en kestirme gidiş noktalarını (waypoints) gösterecek fonksiyonlara sahiptir. Williams (1999) birçok GPS sisteminde en yakın hava alanı bilgisinin metin tabanlı bir formatla gösterildiğini ifade etmiştir. Metin formatına sahip GPS benzeri göstergelerdeki en yakın hava alanı bilgisinin algılanması harita gösterimine sahip göstergelere nazaran daha yavaştır. Patika-yukarı harita (“Track-up map display”; hava aracının yönü ile göstergenin üstü uyumludur) kullanan katılımcılar kuzey-yukarı (“North-up map display”; göstergenin üst kısmı kuzeyi göstermektedir) göstergeden daha hızlı hareket etmişlerdir ve bilgilerin algılanması daha doğrudur. En yakın hava alanı bilgisinin sunumunda grafiksel gösterimlerin metinsel gösterimler üzerine üstünlüğünü gösteren sonuçlar grafiksel (harita vb.) göstergelerin avantajlarını öne çıkarmaktadır.

Pilotlara aracın pozisyonu konusunda bilgi veren göstergelerin referans çerçevelerinin sunum şekilleri (formatları) dikkate alınması gereken önemli parametrelerden biridir. İki tipte pozisyon göstergesi; “hareket eden ufuk/sabit hava aracı referansı” ve “hareket eden hava aracı /sabit ufuk referansı vardır. İlk tipteki göstergeler “içerisi-dışarıda” ve ikinci tipteki göstergeler ise “dışarı-sı-ıçeride” olarak da adlandırılmaktadır (Previc ve Ercoline, 2000). Normal uçuş sırasında ve uygun olmayan pozisyonların düzeltilmesindeki dönüş-geri dönüş manevralarında (roll-reversal) hataların önlenmesinde “dışarı-sı-ıçeride” pozisyon gösterge tipinin diğer tipe nazaran daha üstün olduğu görülmüştür. Bu gösterge tipi uzaysal konuma göre üç boyutlu yönlendirmenin sağlanması açısından daha üstün özelliklere sahiptir. Bu iki pozisyon göstergesi örneği ve arasındaki farklar Şekil 2.1.’de ( dışarı-sı-ıçeride” formatı solda ve “içerisi-dışarıda” formatı sağda) görülmektedir (Johnson ve Roscoe, 1972).

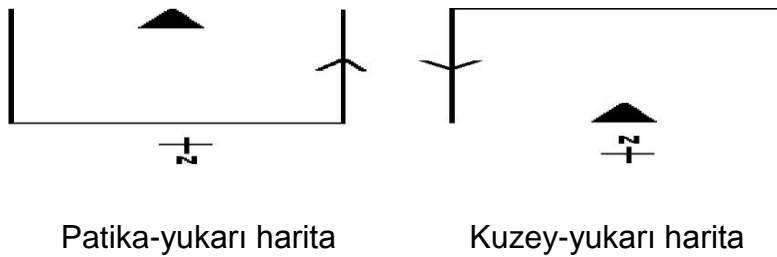


Şekil 2.1. Pozisyon göstergesi tipleri

Pilotlar aletli uçuş şartlarında “içerisi-dışarıda” tipteki pozisyon göstergeleri ile üç boyutlu yönlendirmenin sağlanmasında güçlük çekmişlerdir. Uçuş verilerini okurken ve yorumlarken 270 hata yapmışlardır (Fitts ve Jones, 1947). Ancak “dışarı-sı-ıçeride” formatındaki göstergelerin kullanımı daha hızlı bir şekilde öğrenilebilir. Bu formatın avantajı insan beyninin üç boyutlu uzayda konumlandırma ve yönlendirme bilgisini işleme şekliyle ilişkilendirilebilir.

Kontrol-gösterge uyumluluğu ve şekil-zemin ilişkisi “dışarı-sı-ıçeride” tipteki göstergelerin diğler avantajlarındandır. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar uygun olmayan pozisyonların ve özellikle yeni pilotların daha sık karşılaşabileceği durumsal farkındalık hatalarının önlenmesinde “dışarı-sı-ıçeride” formatının üstünlüğünü gösterdi (Previc ve Ercoline, 2000). Johnson ve Roscoe (1972) “ıçerisi-dışarıda” formatında hareket eden ufuk sembolünün hava aracının yeryüzüne göre hareket algısını tam olarak yansıtamadığını değerlendirmektedir. Suni ufuk yeryüzü ile ilgili önemli birkaç özelliği çığnemektedir. Yeryüzü yüzeyi formsuz olmalı ve hava aracı figürünün arkasında bulunmalıdır. Ancak “ıçerisi-dışarıda” tipindeki pozisyon göstergelerindeki hareket eden ufuk ayırt edilebilecek bir formdadır. Hava aracı ile birlikte aynı düzlemde gözükmemektedir.

Farklı türdeki göstergelerin eş zamanlı olarak sunumu bazı durumlarda daha kullanışlı olmaktadır. Çeşitli harita göstergelerinin birlikte sunumu sırasında bu haritalardan elde edilecek verilerin beyinde işlenerek cevaplandırılması zihinsel süreçlerde çekişmeye neden olabilir. Gatti ve Egeth (1978) hedef bölgenin algılanmasında çeşitli saptırıcıları ve bu saptırıcıların algıda seçicilik üzerindeki etkilerini gösterdi. Saptırıcı ile hedef arasındaki beş derecelik bir açı bile bu etkileri engellememektedir. (Gatti ve Egeth, 1978, Duncan, 1984, Eriksen ve Yeh, 1985, Laberge ve ark.,1997). Eğer bu tür haritaların eş zamanlı sunumu birbirleri ile karışmazsa dual göstergeler dünya merkezli (track-up) görevlerde ve araç merkezli (north-up) görevlerde yararlı olacaktır.



Şekil 2.2. Dual durum (Taluka ve ark.,2000)

Şekil 2.2.'de dual durumda gösterilmiş dünya merkezli bir uçuş görevi görülmektedir. Dağ (üçgen sembolü) hedef bölgedir ve güneyde yer almaktadır. Hava aracı sembolü ise hava aracının gidiş yönünü gösteren ok işaretidir. Tlauka ve ark., (2000) farklı türdeki harita göstergelerinin eş zamanlı sunumlarının durumsal farkındalığın artırılmasında etkili olduğunu belirlemiştir. Yapılan araştırmada katılımcıların bir kısmı araç merkezli ("ego-centered reference frame; ERF", patika-yukarı formatı için uygundur ve sağ, sol manevra kararları aracın ön kısmına göre değerlendirilebilir) bir gösterge tipi kullanırken diğerleri dünya merkezli ("world-centered reference frame; WRF" kuzey-yukarı formatı için uygundur, çünkü kullanıcının görüş alanıyla uyumlu olarak takip edilmesi gereken yolu gösterirler.) göstergeyi tercih etmişlerdir. Patika-yukarı ve kuzey-yukarı formundaki haritalar her iki tipte göstergeyi içeren dual bir gösterge ile karşılaştırılmıştır.

Göstergelerin veri sunum formatı ile dış çevrenin aynı düzen ve hizada olması yararlıdır. Eğer böyle olmazsa durumsal farkındalığın sağlanabilmesi için cisimlerin zihinde döndürülmesi gerekmektedir (Evans ve Pezdek, 1980). Kuzey-yukarı (göstergenin üst kısmı kuzeyi göstermektedir) ve patika-yukarı (hava aracının baş kısmı ile göstergenin üstü uyumludur) haritalar uzaysal bilginin sağlanmasında kullanılan iki farklı formattaki gösterge tipleridir (Wickens ve Long, 1995, Williams ve ark.,1996, Wickens ve Prevett, 1995). Tlauka ve ark., (2000) bu türdeki göstergelerle ilgili yaptığı araştırma sonuçları Çizelge 2.1.'de verilmiştir. Kuzey-yukarı haritaların reaksiyon süresi patika-yukarı ve dual göstergelerden ( $p < 0.05$ ) WRF görevlerde daha kısadır. Dual haritalar ise hata oranlarında WRF ve ERF görevlerinde patika-yukarı gösterge tipine göre daha iyidir. Bu haritalar WRF görevlerinde patika-yukarı göstergelere göre daha hızlı reaksiyon sürelerine sahiptir. ERF görevlerinin reaksiyon sürelerinde gösterge tipleri açısından dikkate değer bir fark bulunmamıştır.

Çizelge 2.1. Ortalama reaksiyon süreleri (ms) ve hata yüzdeleri (%)

Harita Tipleri	Patika-yukarı haritalar	Kuzey-yukarı haritalar	Dual
Ortalama reaksiyon süreleri (ms) (WRF / ERF görevleri)	1346 / 1080	957 / 1161	1139 / 1099
Hata yüzdesi (%) (WRF / ERF görevleri)	4.17 / 1.39	3.33 / 2.50	3.82 / 1.25

### 2.3. Uygun Gösterge Türünün Belirlenmesi

Göstergede aranan özellikler kullanım amacına ve uçuş görevinin gereklerine bağlıdır. ERF patika-yukarı haritaları için uygundur. Çünkü bunlar kullanıcının görüş alanıyla uyumlu olarak takip edilmesi gereken yolu gösterirler. Ancak WRF kuzey-yukarı göstergelerde daha uygundur. Wickens ve Prevett (1995) WRF kullanımı gerektiren görevlerin kuzey-yukarı göstergelerle daha iyi bir şekilde gerçekleştirilirken, ERF kullanımı gerektiren görevlerin performansının patika-yukarı haritalarda daha fazla olduğunu ifade etmektedir. *Bu yaklaşımdan pilotaj performansının gösterge türüyle birlikte verilen görevin türüne bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Pilotların hızları ve aldıkları kararlardaki doğruluk seçilen gösterge türünden etkilenecektir.* Kuzey-yukarı göstergelerin kullanımı kolaydır. Pilotlar harita göstergelerini çeşitli türlerdeki metin tabanlı göstergelerden daha hızlı bir şekilde kullanabilmektedir.

### 2.4. Kullanılabilirlik Değerlendirme Teknikleri

Kullanılabilirlik değerlendirme tekniklerinin uygulanmasındaki esas gaye insan-sistem, makine etkileşimi sırasında yaşanan süreçlerin (kullanıcıya bu süreçlerin anlamlı, mantıklı gelmesi) doğrulanmasıdır. Bu teknikler kullanılabilirlik testi ve kullanılabilirlik incelemesi olmak üzere iki sınıfta toplanır (Virzi, 1997). Kullanılabilirlik testi bir arayüz değerlendirmesinde

kullanılacak kontrollü deneyleri, bir hipotezi, katılımcıları ve elde edilen bilgilerin istatistiksel analizlerini içerir. Sübjektif veriler de toplanarak değerlendirilebilir, ancak bu yöntemin asıl amacı belirli bir sorunun (karşılaşılan hata sayısı vb.) cevaplanmasıdır.

Başlangıçta tüm hedefler için niceleyici değerler belirlenir. Yapılan bir deney ile belirlenen bu hedef değerlerin arayüz tarafından karşılanma durumu ölçülür (Wixon ve Wilson, 1997). Bununla birlikte, kullanılabilirlik incelemesi ("walkthrough" ve "non-walkthrough") çok çeşitli gündelik (informal) yöntemleri içerir (Newman ve Lamming, 1995). Bir sistemde gerçekleşen olayların sıra ve düzeni belirlenen hedefler doğrultusunda "walkthrough" tekniklerinden olan bilişsel ilerleme, model tabanlı değerlendirme vb. yöntemlerle incelenir. "Non-walkthrough" tekniği sıra tabanlı değildir. Eleştirel değerlendirme ve sezgisel analiz bu kategoridedir. Yapılması düşünülen deneysel şartlara göre "walkthrough" ve "non-walkthrough" tekniklerinin her ikisi de kullanılabilir.

Her bir kullanılabilirlik değerlendirme yönteminin güçlü ve zayıf yönleri vardır. Kullanılabilirlik değerlendirme uygulamalarının tamamında diğerlerine göre daha üstün olan bir teknik yoktur. İdeal olan kombinasyon kullanılabilirlik testi ile birlikte diğer teknikleri de uygulamaktır. Havacılıkta bulunan sistemlerin kullanılabilirlik değerlendirmesinde uygulanabilecek yöntemler aşağıda belirtilen özelliklere sahip olmalıdır (Clamann ve Kaber, 2004):

- Maliyet-etkin: Proje üzerine getireceği ilave maliyet aşırı olmamalıdır.
- Hızlı geçiş: Son teknolojik gelişmelerin yeni tasarımlara ya da mevcut sistemlere eklenmesinde geciktirici bir rolü olmamalıdır.
- Tüm yaşam çevrimiyle entegre: Kullanılabilirlik gerekleri ürün geliştirme süreciyle entegre bir şekilde ürünün yaşamı boyunca dikkate alınmalıdır (Singer, 1999, Williges ve ark.,1988, Stein, 2000, Stager, 2000).
- Çok çeşitli alanlardan uzmanların girdi sağlaması: Havacılık sistemleri hedeflenen kitle (popülasyon) için tasarlanmalıdır. Operatör ve/veya

pilotlar da sürekli olarak bu çalışmalara katılmalıdır (Virzi, 1997, Stein, 2000).

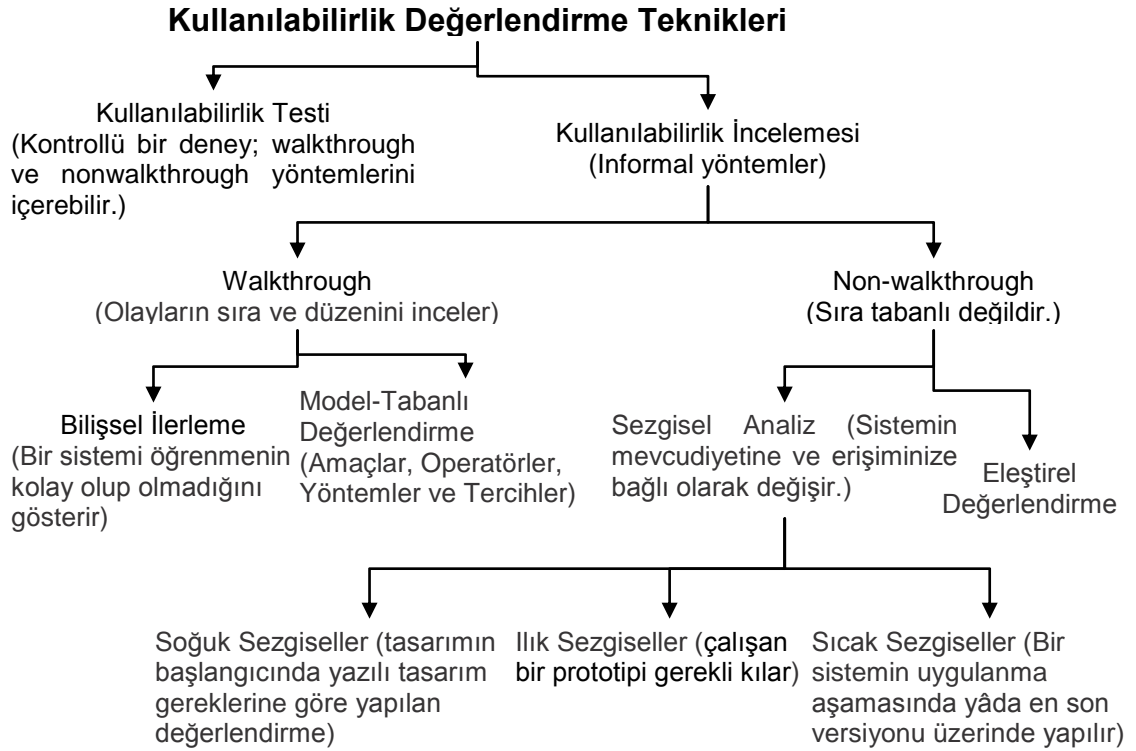
- Kokpit tasarımına taşınabilirlik ve ölçeklenebilirlik: Seçilen kullanılabilirlik değerlendirme yöntemleri kokpit arayüz tasarım gereklerine uygun olarak adapte edilebilmelidir.

## **2.5. Kullanılabilirlik Değerlendirme Tekniklerinin Uygulanabilirliği**

Kullanılabilirlik testi uygulama maliyetinin diğer yöntemlerden daha yüksek olmasına karşın, kesin, Nicel sonuçlar vermesi gibi avantajları maliyetten daha ağır basabilmektedir. Buna karşın sezgisel analiz yöntemi hızlı bir şekilde kullanılabilirlik incelemesi gerçekleştirilmesinde on yıldır kullanılmaktadır. Bu yöntem diğer kullanılabilirlik inceleme tekniklerinden daha hızlıdır ve daha düşük maliyetlidir. Çok fonksiyonlu bir göstergenin (Multi-Control Display Unit; MCDU) kullanılabilirlik ihtiyaçlarının belirlenmesi sırasında Kaber ve ark., (2002) “sıcak sezgisel” olarak bilinen bir yöntem uyguladı. Yapılan çalışmayla bu gösterge öğrenilebilirlik, esneklik ve sağlamlık konularında yedi uzmandan oluşan bir grubun değerlendirmesine tabi tutuldu ve MCDU’nun birkaç insani faktör ilkesini çiğnediği sonucu ortaya çıktı. Ayrıca tasarıma yönelik mevcut sezgisel kullanılabilirlik değerlendirme yöntemleri doğrudan havacılık sistemlerine taşınabilir-uygulanabilir değildi.

Havacılık sistemlerinin değerlendirilmesinde kullanılacak sezgisel yöntemlerin uyarlanmasına; adapte edilmesine veya yeni yöntemlerin geliştirilmesine ihtiyaç vardı. Burada insan faktörü ilkeleri bir temel oluşturacak şekilde kullanıldı ve modern havacılık sistemlerinde uygulanabilecek bir rehber geliştirildi (Williges ve ark.,1988). Çeşitli teknikler birleştirilerek kullanılmaya başlandı.





Şekil 2.3. Kullanılabilirlik değerlendirme tekniklerinin özet gösterimi

## 2.6. Kullanılabilirlik ve Tasarım Süreci

Literatürde göstergelerin tasarımı ya da tasarlanmış göstergelerin kullanılabilirlik değerlendirmesiyle ilgili pek çok yaklaşım olmasına rağmen, göstergelerin bir panel üzerine yerleştirilmesiyle ilgili birleşik bir yöntem şu ana kadar önerilmemiştir. İnsan Bilgisayar etkileşimi (HCI) rehberini inceleyen Williger ve ark., (1988) kullanıcı dostu bir tasarımın gerçekleştirilmesiyle ilgili 14 adımlık bir yöntem önerdi. Bu yöntem tasarımın başından sonuna kadar kullanıcı üzerinde odaklanmayı içerir. Kullanıcı-merkezli tasarım için Gould ve ark., (1997) tarafından önerilen benzer modeller, tasarımın ilk aşamalarından başlamak üzere kullanıcı üzerinde sürekli olarak odaklanmayı, kullanıcıdan girdi sağlamayı öngörüyordu. Bu yöntemin sonuçları kullanılabilirlik testi ile geçerli kılınmaktadır. Tasarımın son aşamalarında sistemlerde değişiklik yapılmasına ihtiyaç duyulması

halinde karşılaşılabilecek maliyet çok yüksektir. Fonksiyonel prototiplerin tamamlanmasını müteakip tasarımda tespit edilecek kullanılabilirlik problemlerini düzeltmek çok zordur (Sarter ve ark.,1997, Stein, 2000).

Bir kısım havacılık sistemi tasarımcıları katılımcıların görüşlerine dayanan tasarım yöntemleri önermişlerdir (Benel, 1998). Bir kısım arayüz üreticisi ise panel yerleşimi, kontrol konfigürasyonu ve menü tasarımı sırasında pilotlarla insan faktörü deneylerini de içeren fazla miktarda “walk-through” değerlendirmesi yapmaktadır. Kullanıcıyla doğal bir diyalog kuran; kullanıcının dilini konuşan ve zihinsel yükü azaltan, yeterli seviyede geri bildirim sağlayan, tutarlı, içerisinde kısa yollar, çıkışlar ve anlaşılır hata mesajları bulunan, hataları önleyebilen göstergelerin tasarlanmasına ihtiyaç vardır (Singer, 1999). Clamann ve ark., ise *“Kullanılabilirlik testinin, sezgisel değerlendirmenin ve ortaklaşa ekip değerlendirmesinin havacılık tasarım konseptine en uygun olduğunu”* ifade etmektedir. Bu üç teknik kullanılabilirlikle ilgili hataları önemli ölçüde azaltabilir. Ancak herhangi bir sistemin kullanılabilirlik testi yapılmasında da çeşitli güçlükler vardır. Kullanılabilirlik testi yapan birçok şirket, bu süreci son teknoloji ürünlerin ve tasarımların kokpit tasarımına aktarılmasında gecikmeye yol açan nedenlerden biri olarak görmektedir.

### 3. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERMEDE TEST YÖNTEMLERİ

Hava aracı kokpit ve arayüz tasarımlarının kullanılabilirlik değerlendirmesi için literatürde önerilen ve İkinci Bölümde detayları açıklanan yöntemler genellikle tasarım ekibinin sübjektif değerlendirmelerine ve sezgisel esaslara dayanmaktadır. Çeşitli dezavantajları olan bu yöntemler tasarımların birebir prototiplerine (mock-up) ihtiyaç duymaktadırlar. Tasarım aşamalarında (başlangıç, prototip, ilk ürün, ürün, seri imalat) yapılabilecek hatalara karşı her aşamada bu yöntemlerin tekrar edilmesi ve sistem gereksinimlerinin gözden geçirilmesi gerekmektedir. Tasarım aşamalarında yapılan hatalar birbirlerini etkilemektedir. Bu ise tasarım sürecini yavaşlatmaktadır. Önerilen yöntemler genellikle analitik değildir.

Literatürde göstergelerin tasarımı ya da tasarlanmış göstergelerin kullanılabilirlik değerlendirmesiyle ilgili pek çok yaklaşım olmasına rağmen, göstergelerin özellikle bir panel üzerine yerleştirilmesiyle ilgili belirli ve pratik birleşik bir tasarım yöntemi şu ana kadar önerilmemiştir.

Bu çalışmanın amacı arayüz kullanılabilirliğini artırmak ve kullanıcıların (pilot, teknisyen, operatör) arayüzden kaynaklanan zihinsel yüklerini azaltmak için uygun bir arayüz tasarım yöntemi geliştirmektir. Kullanıcı perspektifini tasarıma yansıtacak şekilde gösterge pozisyonlarının tespitinde Nicel yaklaşımlar ile Nitel yaklaşımların sonuçları birleştirilecektir. Bunun için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) ve Kart Sınıflandırması (KS) yöntemleri ile problemimiz çözülecek ve insani faktörleri göz önünde tutan bir yaklaşımla her iki tasarım sonucunda birleşik tasarım elde edilecektir. ÇKKV yaklaşımında, göstergeler panel üzerinde yerleştirilirken uçuş sırasında göstergelerin kullanımı ve sistemin bütünlüğüne olan faydaları göz önünde tutulacaktır. Göstergenin kullanım sıklığı ve gösterge tarafından sunulan verilerin önemi (uçuş emniyetine olan etkisi) göstergenin sisteme olan faydasını etkilemekte ve belirlemektedir. Fayda sınıflarına göre göstergeler panel üzerine yerleştirilebilir.

Bahsedilen Nicel ÇKKV yöntemi optimizasyon modelinin sonuçlarına bağlı kalarak bir çözüm bulacak ve tasarım yapılacaktır. Sadece matematiksel modele bağlı kalınarak tasarım yapılması kullanıcının bakış açısını tasarıma yeterince yansıtmayabilir. Tasarımcılar herhangi bir tasarımdan önce, kullanıcılarının tasarlanacak ürünle ilgili zihinsel modellerini iyi bir şekilde anlamalıdır. Nitel incelemeler kavramsal modeli (kullanıcının bir nesneden aldığı ilk izlenim) tespit ederek tasarıma değer kazandırır. KS yöntemi kullanıcıyı tasarım sürecine katarak kavramsal modelin belirlenmesine fırsat sağlar, onlara yapılan tasarımın kendi ihtiyaçlarını karşılamak için gerçekleştirildiği hissini verir (Robertson, 2001). Bu nedenle geliştirilerek bu problemin çözümüne adapte edilen KS yaklaşımıyla problem tekrar ele alınacaktır. Yukarıda açıkladığımız üzere her iki yaklaşımın da çeşitli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenle *bu iki yaklaşımdan (Nicel ve Nitel) elde edilen sonuçların birleştirilerek daha iyi tasarımların elde edilebileceği düşünülmektedir.*

### **3.1. Karar Vericinin Fayda Fonksiyonunun Test Edilmesine Yönelik Yaklaşımlar**

Çok kriterli değişkenlerin fayda (öncelik) sınıflarına atanmasında kullanılacak olan optimizasyon modellerinin bir çözüm bulamaması halinde (sınırsız çözüm;  $\epsilon > 0$ ) Karar Vericinin (KV) görüşüne başvurulmaktadır. Literatürde KV fonksiyonun tipi belirlenmeden  $u(x)$ ' ait genel formun lineer, quasi-konkav vb. yapıda olduğu varsayılarak çeşitli alternatifler arasından en iyi olanları seçmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Ancak KV'nin kalan değişkenler arasındaki tercihi çözümü etkilemektedir. Bu nedenle bu tür algoritmaları kullanmadan önce KV fayda fonksiyonunun  $U(X)$  formunun belirlenmesi için çeşitli testler yapılmalıdır. Değişkenlerin durumuna (kriter değerlerine) göre seçim yapan KV'nin yaklaşımı ve tercihleri lineer, quasi-konkav, quasi-konveks ve genel monotonik yapıdaki bir fonksiyon formuna uygun olabilir. Bu yapının belirlenmesinde KV çeşitli testlere tabi tutulmaktadır. Bu bölümde

bu testlerin oluşturulmasına yönelik teoriler ve literatürde geçen yaklaşımlar ele alınacaktır.

Geçmiş dönemlerde KV fonksiyonun tipinin genel formun lineer, quasi-konkav vb. yapıda olduğu varsayılarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Zions, (1981) fayda fonksiyonunun lineer olduğunu varsayan yaklaşımlar geliştirmiştir. Daha sonra bu fonksiyonun quasi-konkav yapıda olduğunu kabul edilerek yapılan çalışmalar olmuştur (Korhonen ve ark., 1984, Köksalan ve ark., 1984, Köksalan ve Taner, 1992, Köksalan, 1989 ve Malokooti, 1989a).  $U(X)$  fonksiyonunun formunun quasi-konkav yapıda olduğunu kabul eden araştırmacılar insan davranışlarını ve karar verme sürecini bu tür fonksiyonların daha iyi temsil ettiğini iddia etmektedirler. Ancak buna karşın  $U(X)$  fonksiyonun tipinin en az aşağıda açıklanan üç nedenden ötürü bilinmesine ihtiyaç vardır:

1. Kişi karar verme sürecinde bir, iki kriterde en yüksek puanı almış ancak diğer kriterlerde daha düşük puana sahip olan bir değişkeni tüm kriterlerde ortalama düzeyde puan almış değişkenlere tercih edebilir. Böyle bir yaklaşım quasi-konkav yapıya uygun değildir.  $U(X)$  fonksiyonun formunun quasi-konkav yapıda olduğunu kabul eden bir çözüm yaklaşımı böyle bir durumda kötü bir alternatifi en iyi çözüm olarak bulabilir.
2. Kriter uzayının belirli bölümlerinde  $U(X)$  fonksiyonu farklı formlarda olabilir.  $U(X)$  fonksiyonu formunun belirli bir eşik değere kadar genel olarak quasi-konkav yapıda olabilir, ancak bu eşik değerden sonra farklı formlarda bulunabilir.
3. Ayrıca  $U(X)$  fonksiyonu formunun lineer yapıda olduğu durumlar olabilir. Böyle bir durumda  $U(X)$  fonksiyonun quasi-konkav yapıda olduğunu kabul ederek geliştirilen çözüm yaklaşımları her ne kadar en tercih edilen alternatifleri belirleyerek en uygun çözümü bulsa da, özellikle lineer yapıdaki  $U(X)$  fonksiyonlarının çözümüne yönelik olarak geliştirilmiş yaklaşımların kullanılması çözüme daha

kısa sürede ulaşılmasını sağlayacaktır ve daha etkin bir yaklaşımdır.

Sonuçta KV fayda fonksiyonu  $U(x)$ 'in tipi belirlenirse bu fonksiyon tipine en uygun ve etkin olan yöntem seçilerek çözüm aşamasında kullanılabilir. Burada etkinlikten kasıt KV'den alınması gereken (çözumsuz durumlarda KV'ye sorulan soru sayısı) çözüm uzayına yönelik bilgi miktarına yöneliktir. Ayrıca bu durum dolaylı bir şekilde hesaplama etkinliğini artırarak çözüm zamanını kısaltmaktadır.

### 3.2. Teori

$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})$  i. alternatifin j. kritere göre değeri  $x_{ij}$  olsun.  $Y = \sum \mu_i X_i$ ,  $\sum \mu_i = 1$  olsun. p-boyutlu Euclidean uzayında  $U(X)$  quasi-konkav yapıda bir fonksiyon ise  $U(Y) \geq \text{Min}\{u(X_i)\}$  dir. Eğer u quasi-konveks yapıda bir fonksiyon ise  $U(Y) \leq \text{Max}\{U(X_i)\}$  dir. Eğer  $U(X)$  quasi-konkav ve quasi-konveks yapı formlarına uygunsa  $U(X)$  aşağıdaki eşitliğe uygun olarak lineer yapıda bir fonksiyondur.

$$\text{Min}\{u(X_i)\} \leq U(Y) \leq \text{Max}\{u(X_i)\}$$

Köksalan ve Sagala (1995) tarafından önerilen test yaklaşımları yukarıda açıklanan tanımlara göre hareket etmektedir. Önerilen yaklaşımların etkinliği KV'ye sorulan soru miktarıyla değerlendirilmektedir.  $X_1$  ve  $X_2$  olmak üzere iki alternatif ele alalım. Buradan sonra ortaya konacak tüm teorem ve testlerde  $X_1$  alternatifi  $X_2$ 'ye tercih edilmektedir (Köksalan ve Sagala, 1995). KV'nin azalmayan bir fayda fonksiyonu  $U(X)$  olduğu kabul edilirse,  $U(X_1) > U(X_2)$  dir.

$$Y = \mu X_1 + (1 - \mu) X_2, \quad 0 < \mu < 1 \text{ olmak üzere};$$

Durum 1. KV  $X_2$  alternatifini  $Y$ 'ye tercih ederse  $U(X_2) > u(Y)$ ,  $U(X)$  fonksiyonu quasi-konkav değildir.

Durum 2. KV  $Y$  alternatifini  $X_1$ 'ye tercih ederse  $U(Y) > u(X_1)$ ,  $U(X)$  fonksiyonu quasi-konveks değildir.

Eğer Durum 1. geçerli değilse  $U(X)$  fonksiyonunun quasi-konkav olmadığı (fonksiyon quasi-konkav olmasa bile) yönünde yeterli bilgimiz yoktur.

Benzer şekilde Durum 2. geçerli değilse  $U(X)$  fonksiyonunun quasi-konveks olmadığı (fonksiyon quasi-konveks olmasa bile) yönünde yeterli bilgimiz yoktur.

Eğer Durum 1. ve Durum 2. aynı anda geçerli değilse  $U(X)$  fonksiyonunun lineer olmadığı (fonksiyon lineer olmasa bile) yönünde yeterli bilgimiz yoktur.

Ancak Durum 1. ya da Durum 2.'den herhangi biri geçerli ise  $U(X)$  fonksiyonun doğrusal olmayan yapıda (non-lineer olduğunu) kabul edebiliriz.

Yeterli sayıda farklı  $X_1$ ,  $X_2$  ve  $Y$  kümeleriyle yapılan çözümler (iterasyonlar) sonrasında Durum 1. geçerli kılınamazsa  $U(X)$  fonksiyonu quasi-konkav kabul edilebilir. Benzer mantık quasi-konveks ve lineer durumlar için de kurulabilir (Köksalan ve Sagala, 1995).

### **3.3. $X_1$ , $X_2$ ve $Y$ 'nin Belirlenmesi**

$U(X)$  fonksiyonu formunun belirlenmesinde çözüm sürecini hızlandıracak şekilde  $X_1$ ,  $X_2$ 'ye bağlı olarak  $Y$ 'nin belirlenmesi konusunda Malakooti (1989b)  $Y = 0.5X_1 + 0.5X_2$  formülünü önermektedir.  $X_1$ ,  $X_2$ 'nin belirlenmesi konusunda ise kapsamlı bir öneri sunamamıştır.

$X_1$  ve  $X_2$ 'yi KV belirlemeden bizim seçtiğimizi varsayalım. Öncelikli olarak  $U(X)$  fonksiyonunun quasi-konkav olup olmadığı test etmek istediğimizi düşünelim. Böyle bir durumda öyle bir  $Y$  değeri belirlemek isteriz ki  $U(X)$  quasi-konkav değilse bunu tespit etme şansımızı belirlediğimiz bu  $Y$  değeri artırsın. Diğer bir ifadeyle öyle bir  $Y$  değeri bulmak isteriz ki  $U(X_2) > U(Y)$  olsun ki bu durum (Durum 1.)  $U(X)$  fonksiyonunun quasi-konkav olmadığını göstermektedir.

#### Teorem 1

$U(X)$  quasi-konveks bir fonksiyon olsun, bazı  $0 < \alpha < 1$  için  $Y' = \alpha X_1 + (1-\alpha)X_2$  olmak üzere  $U(X_2) > U(Y')$  dür. O halde  $u(X_2) > U(Y)$  durumu  $Y = \mu X_1 + (1-\mu)X_2$ ,  $0 < \mu < \alpha$  için geçerlidir.

#### İspat

$X_1$ ,  $Y'$  ve  $X_2$  cinsinden ifade edilir ve  $Y$  denkleminde yerine konarsa  $Y = (\mu/\alpha) Y' + (1 - \mu/\alpha)X_2$  elde edilir ve  $Y$  değeri  $Y'$  ve  $X_2$  değerlerinin konveks kombinasyonudur; çünkü  $\mu < \alpha$ 'dır.

Quasi-konveks fonksiyon tanımından hareketle  $U(Y) \leq \text{Max}\{u(Y'), u(X_2)\}$  dir.  $U(X_2) \geq u(Y')$  olduğunu biliyoruz. O halde  $U(X_2) \geq u(Y)$ 'dir.

#### Not 1

Bu teorem  $X_1$  ve  $X_2$ 'nin konveks kombinasyonu olan  $Y'$  nün fayda değerinin en çok  $X_2$ 'nin fayda değeri kadar olabileceğini göstermektedir. Öyleyse  $Y'$  ve  $X_2$ 'nin konveks kombinasyonu için fayda değeri de en fazla  $X_2$ 'nin fayda değeri kadar olacaktır. Bunun anlamı şudur:  $Y$  değeri  $X_2$ 'ye ne kadar yakın seçilirse test aşamasında o kadar iyidir.  $Y$  değeri  $X_2$  değerine yakın ve  $X_2$  değerinden daha az tercih edilen bir değerdir (Durum 1). Bu teorem  $U(X)$  fonksiyonunun quasi-konkav olmadığını test ederken kullanılacak en iyi  $Y$  değerinin belirlenmesi için bir yöntem sunmaktadır.



### Teorem 2

$U(X)$  quasi-konvkv bir fonksiyon olsun, bazı  $0 < \alpha < 1$  için  $Y' = \alpha X_1 + (1-\alpha)X_2$  olmak üzere  $U(Y') > U(X_1)$ 'dir. O halde  $u(Y) > U(X_1)$  durumu  $Y = \mu X_1 + (1-\mu)X_2$ ,  $\alpha < \mu < 1$  için geçerlidir.

### İspat

$Y, X_1, Y'$  nün konveks kombinasyonu şeklinde ifade edilebilir.

$$Y = [(1-\mu)/(1-\alpha)] Y' + [1-(1-\mu)/(1-\alpha)] X_1$$

Quasi-konkav fonksiyonun tanımından hareketle  $U(Y) \geq \text{Min}\{U(Y'), U(X_1)\}$  dir.

$U(Y') \geq U(X_1)$  olduğunu biliyoruz. O halde  $U(Y) \geq U(X_1)$ 'dir.

### Not 2

Teorem 2 bize  $X_1$  ve  $X_2$ 'nin konveks kombinasyonu olan  $Y'$  'nün tercih edilme durumunun en az  $X_1$ 'nin tercih edilme durumu kadar olabileceğini göstermektedir. Öyleyse  $X_1$  ve  $X_2$ 'nin konveks kombinasyonu için fayda değeri de en fazla  $X_1$ 'nin fayda değeri kadar olacaktır. Bunun anlamı şudur:  $Y$  değeri  $X_1$ 'e ne kadar yakın seçilirse test aşamasında o kadar iyidir.  $Y$  değeri  $X_1$  değerine yakın ve  $X_1$  değerinden daha çok tercih edilen bir değerdir (Durum 2). Bu teorem  $U(X)$  fonksiyonunun quasi-konveks olup olmadığını test ederken kullanılacak en iyi  $Y$  değerinin belirlenmesi için bir yöntem sunmaktadır

### Teorem 3

$U(X)$  quasi-konveks bir fonksiyon olsun.  $X_1, X_2, X_1', X_2'$  için ise  $0 < \mu_1, \mu_2 < 1$  olmak üzere;  $X_1' = \mu_1 X_1 + (1-\mu_1)X_2$  ve  $X_2' = \mu_2 X_1 + (1-\mu_2)X_2$  olsun.  $0 < \alpha < 1$  için  $Y = \alpha X_1' + (1-\alpha)X_2'$  olsun. Eğer  $U(Y) \leq \text{Min}\{U(X_1'), U(X_2')\}$  ise  $U(Y) \leq \text{Min}\{U(X_1), U(X_2)\}$  dir.

### İspat

$u(X_2) = \text{Min}\{U(X_1'), U(X_2')\}$  dir.  $U(Y) \leq U(X_2)$  olduğunu göstermeliyiz.  $X_1', X_2'$  ve  $Y$  için gerekli yerine koymaları yaparak aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$X_1' = \frac{\mu_1}{\mu_1\alpha + \mu_2(1-\alpha)}Y + \left(1 - \frac{\mu_1}{\mu_1\alpha + \mu_2(1-\alpha)}\right)X_2$$

$$X_2' = \frac{\mu_2}{\mu_1\alpha + \mu_2(1-\alpha)}Y + \left(1 - \frac{\mu_2}{\mu_1\alpha + \mu_2(1-\alpha)}\right)X_2$$

$\text{Min}(\mu_1, \mu_2) < \mu_1\alpha + \mu_2(1-\alpha) < \text{Max}(\mu_1, \mu_2)$  olduğundan,

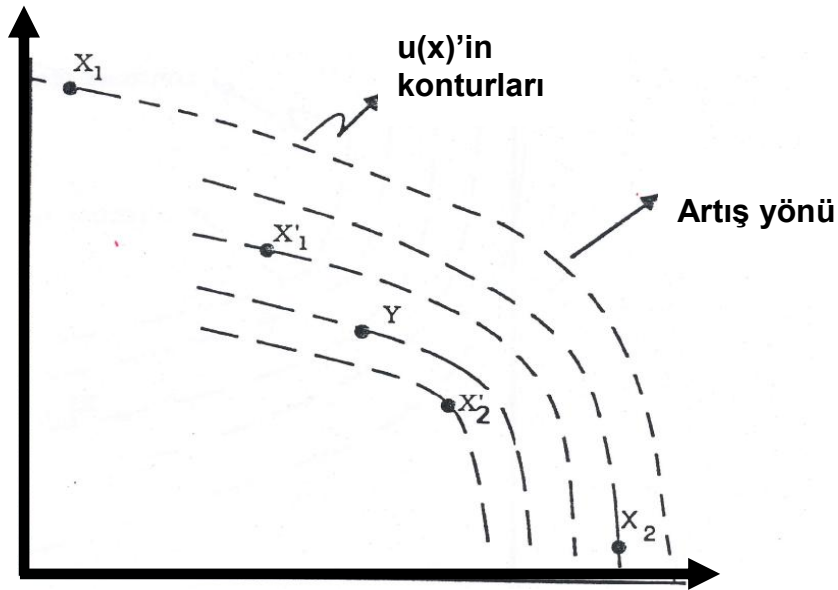
$$\beta = \frac{\text{Min}(\mu_1, \mu_2)}{\mu_1\alpha + \mu_2(1-\alpha)} < 1$$

ve  $0 < \beta < 1$  için  $X_1' = \beta Y + (1-\beta)X_2$  ve  $X_2' = \beta X_1 + (1-\beta)X_2$  dir.

Öyleyse  $u(X_1') \leq \text{Max}\{U(Y), U(X_2)\}$  ya da  $u(X_2') \leq \text{Max}\{U(Y), U(X_2)\}$ .

$U(Y) \leq U(X_1')$  ve  $U(Y) \leq U(X_2')$  olduğunu kabul etmiştik.

O halde  $U(X_1') \leq U(X_2)$  ya da  $U(X_2') \leq U(X_2)$ . Sonuçta  $U(Y) \leq U(X_2)$  dir.



Şekil 3.1. Kuasi-konkav olmama durumunun tespiti

Not 3

Teorem 3 bize fayda fonksiyonu  $u(x)$ 'in kuasi-konkav olmadığı  $X_1'$ ,  $X_2'$  ve  $Y$  ile gösterilebiliyorsa, bu durum  $X_1$ ,  $X_2$  ve  $Y$  ile de gösterilebilir olduğunu ifade etmektedir. Şekil 3.1.'de bu noktaların olası yerleri iki kriterli bir durum için

gösterilmiştir. Burada  $Y$  değeri  $X_1'$ ,  $X_2'$  'nün konveks kombinasyonudur ve  $X_1'$ ,  $X_2'$  değerleri ise  $X_1$  ve  $X_2$ 'nin konveks kombinasyonudur.

Teorem 3'de ifade edilen durumun tersi geçerli olmayabilir. Yani bize fayda fonksiyonu  $u(x)$ 'in quasi-konkav olmadığı  $X_1$ ,  $X_2$  ve  $Y$  ile gösterilebilirken, bu durum  $X_1'$ ,  $X_2'$  ve  $Y'$  ile de gösterilemeyebilir. Bu durumu şöyle açıklayabiliriz. Şekil 3.1'deki quasi-konveks  $U(X)$  fonksiyonu incelenirse  $U(Y) < \text{Min}\{U(X_1), U(X_2)\} = U(X_2)$ 'dir ve Durum 1.'den hatırlanacağı üzere bu fonksiyonun quasi-konkav olmadığını gösterir. Ancak grafikte  $U(X_1') > U(Y) > U(X_2')$  olduğu görülmektedir ki bu yapı quasi-konkav forma ve hatta lineer forma bile uygundur. Başka bir ifadeyle Teorem 3'de açıklanan durumun tersi geçerli olmayabilir. Bu problem için  $X_1'$  ve  $X_2'$  ve bunların konveks kombinasyonları ile kuasi-konkav olmama durumu gösterilemeyebilir.

$U(X)$  fonksiyonunun kuasi-konkav olmama durumunu gösterebilme şansımızı artırmak için  $X_1$  ve  $X_2$  değerleri mümkün olduğunca birbirinden ayrı ve uzakta seçilmelidir. Benzer sonuçlar fayda fonksiyonu  $U(X)$  kuasi-konkav iken, kuasi-konveks olmama durumunun testi sırasında kullanılacak olan  $X_1$  ve  $X_2$  içinde geçerlidir. En önemli sonuç budur.

#### Teorem 4

$U(X)$  kuasi-konkav bir fonksiyon olsun.  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_1'$ ,  $X_2'$  ve  $Y$  değişkenleri Teorem 3'deki şekilde tanımlıdır. Eğer  $U(Y) \geq \text{Max}\{U(X_1'), U(X_2')\}$  ise  $U(Y) \geq \text{Max}\{U(X_1), U(X_2)\}$  dir.

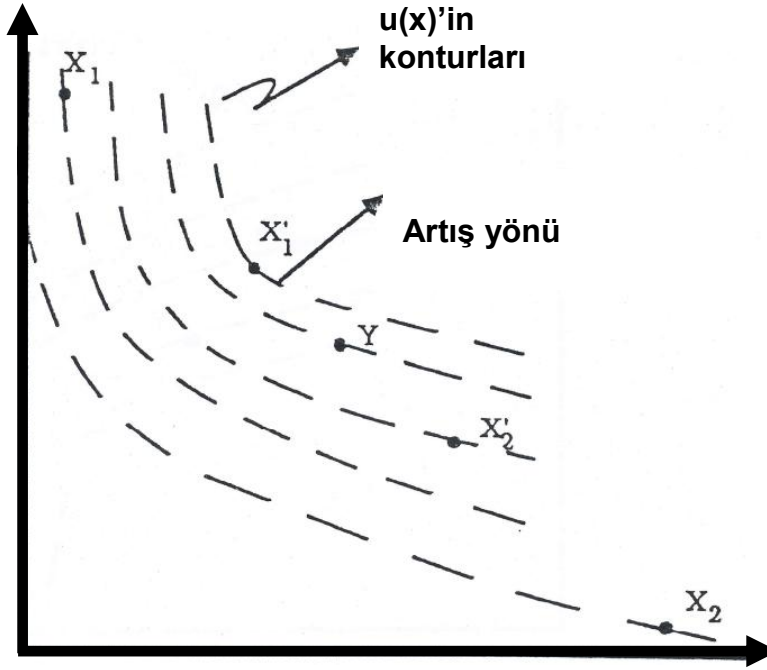
#### İspat

Teorem 3'tekine benzer şekilde bir ispat yapılabilir.

#### Not 4

Teorem 4 bize fayda fonksiyonu  $u(x)$ 'in quasi-konveks olmadığı  $X_1'$ ,  $X_2'$  ve  $Y$  ile gösterilebiliyorsa, bu durum  $X_1$ ,  $X_2$  ve  $Y$  ile de gösterilebilir olduğunu ifade

etmektedir. Şekil 3.2.'de bu noktaların olası yerleri iki kriterli bir durum için gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Kuasi-konveks olmama durumunun tespiti

Teorem 4'de ifade edilen durumun tersi geçerli olmayabilir. Yani fayda fonksiyonu  $U(X)$ 'in kuasi-konveks olmadığı  $X_1$ ,  $X_2$  ve  $Y$  ile gösterilebilirken, bu durum  $X_1'$ ,  $X_2'$  ve  $Y'$  ile de gösterilemeyebilir. Şekil 3.2. incelenirse  $X_1$ ,  $X_2$  ve  $Y$  fayda değerleri kuasi-konveks forma uygun değildir. Ancak  $X_1'$ ,  $X_2'$  ve  $Y'$  fayda değerleri kuasi-konveks forma hatta lineer forma bile uygundur.

$U(X)$  fonksiyonunun kuasi-konveks olmama durumunu gösterebilme şansımızı artırmak için  $X_1$  ve  $X_2$  değerleri mümkün olduğunca birbirinden ayrı ve uzakta seçilmelidir. Teorem 4'ten anlaşılan en önemli sonuç budur.

### 3.4. Test Yöntemleri

$U(X)$  fonksiyon tipinin belirlenmesinde kullanılacak testler Teorem 1-4 sonuçlarından yararlanılarak oluşturulmuştur. Kriter uzayındaki herhangi iki nokta  $X_1$  ve  $X_2$  olarak belirlenebilir. Ancak bu noktalar mevcut (gerçek) alternatifler arasından seçilmezlerse, KV'ye tercihi konusunda sorulacak sorularda ( $X_1$ ,  $X_2$  ve  $Y$  alternatiflerinin hiçbiri gerçek olmadıkları için) zorlanabilir. Bu nedenle  $X_1$  ve  $X_2$  gerçek alternatifler arasından seçilirken  $Y$  (sanal bir alternatif) bunların konveks kombinasyonu olacaktır.

Önerilen yöntemlerde iterasyonlara bir çift  $X_1$  ve  $X_2$  belirlenerek başlanmakta ve fonksiyon için aranılan formun uygun olmadığı tespit edildiğinde ya da iterasyon sayısı belirli bir limit değere ulaştığında durulmaktadır.  $X_1$  ve  $X_2$  alternatifi bir iterasyonda kullanıldıktan sonra alternatif listesinden silinerek ve bir sonraki iterasyonda farklı bir çift  $X_1$  ve  $X_2$  alternatifi belirlenmektedir. Burada  $X_1$  ve  $X_2$  gerçek alternatifler arasından seçildikleri için belirli bir sayıda gerçek alternatif gerekmektedir, ancak ilerleyen bölümlerde de açıklandığı üzere önerilen yöntemler kısa sürede sonuç vermektedir. Bu nedenle ihtiyaç duyulan alternatif ve iterasyon sayısı azdır (Köksalan ve Sagala, 1995).

#### 3.4.1. Kuasi-konkavlık durumunun testi

$X_1$  ve  $X_2$  belirlendikten sonra Teorem 1'in sonuçlarına göre  $Y$  bulunacaktır.  $Y$ ,  $X_1$  ve  $X_2$  alternatifinden daha az tercih edilene yakın yerleştirilmelidir. Burada  $U(X_1) > U(X_2)$  kabul edilmektedir. Bu nedenle  $Y = 0.1X_1 + 0.9X_2$  olarak belirlenir. Hatta  $Y$  alternatifi  $X_2$ 'ye daha yakın olacak şekilde belirlenebilir, ancak  $Y$ 'nin  $X$ 'den belirli bir ölçüde farklı tutulmasında yarar vardır. Böylelikle KV,  $X_2$  ve  $Y$  alternatifleri arasında en uygun olanı tercih edebilirsiniz. Test adımları:

0. İterasyon sayacını  $i=0$  olarak ata ve  $N$ ; maksimum iterasyon sayısı değerini belirle.
1.  $i \leftarrow i + 1$ , iki alternatif belirle, KV'den bu alternatifleri karşılaştırmasını iste. Tercih edilen alternatifi  $X_1$  ve ikinci sırada tercih edilen alternatifi  $X_2$  olarak belirle.
2.  $Y$  alternatifini  $X_1$  ve  $X_2$ 'nin konveks kombinasyonu  $Y = 0.1X_1 + 0.9X_2$  olarak belirle. KV'den  $Y$  ile  $X_2$  alternatiflerini karşılaştırmasını iste. Eğer  $X_2$  seçilirse adım 3'e git. Aksi halde  $i < N$  ise 1'e git. Eğer  $i = N$  ise adım 4'e git.
3. KV tercihleri kuasi-konkav bir fonksiyona uygun, tutarlı değildir. DUR. KV kuasi-konveks ya da daha genel formda bir fonksiyona sahip olabilir.
4. KV tercihlerinin kuasi-konkav bir fonksiyona uygun olmadığı konusunda yeterli kanıt bulunmamaktadır. KV tercihleri;  $U(X)$  fayda fonksiyonu, kuasi-konkav forma uygundur.

### 3.4.2. Kuasi-konvekslik durumunun testi

$X_1$  ve  $X_2$  belirlendikten sonra Teorem 2'in sonuçlarına göre  $Y$  bulunacaktır.  $Y$   $X_1$  ve  $X_2$  alternatifinden daha çok tercih edilene yakın yerleştirilmelidir. Burada  $U(X_1) > U(X_2)$  kabul edilmektedir. Bu nedenle  $Y = 0.9X_1 + 0.1X_2$  olarak belirlenir. Bu test yukarıda açıklanan kuasi-konveks testine benzerdir. Test adımları:

0. İterasyon sayacını  $i = 0$  olarak ata ve  $N$ ; maksimum iterasyon sayısı değerini belirle.
1.  $i \leftarrow i + 1$ , iki alternatif belirle, KV'den bu alternatifleri karşılaştırmasını iste. Tercih edilen alternatifi  $X_1$  ve ikinci sırada tercih edilen alternatifi  $X_2$  olarak belirle.
2.  $Y$  alternatifini  $X_1$  ve  $X_2$ 'nin konveks kombinasyonu  $Y = 0.9X_1 + 0.1X_2$  olarak belirle. KV'den  $Y$  ile  $X_1$  alternatiflerini karşılaştırmasını iste. Eğer  $X_1$  seçilirse adım 3'e git. Aksi halde  $i < N$  ise 1'e git. Eğer  $i = N$  ise adım 4'e git.
3. KV tercihleri kuasi-konveks bir fonksiyona uygun, tutarlı değildir. DUR. KV kuasi-konkav ya da daha genel formda bir fonksiyona sahip olabilir.

4. KV tercihlerinin kuasi-konveks bir fonksiyona uygun olmadığı konusunda yeterli kanıt bulunmamaktadır. KV tercihleri;  $U(X)$  fayda fonksiyonu, kuasi-konveks forma uygundur.

### 3.4.3. Bütünleşik test

Burada daha pratik bir yaklaşım tek bir testle  $U(X)$  fonksiyonunun durumunun (lineer, kuasi-konveks, kuasi-konkav vb.) belirlenmesidir. Literatürde  $U(X)$  fonksiyonu tipi belirlendikten sonra en çok tercih edilen alternatiflerin belirlenmesinde uygulanabilecek algoritmalar vardır. Sonuçta KV fayda fonksiyonu  $U(X)$  tipi belirlenirse bu fonksiyon tipine en uygun ve etkin olan yöntem seçilerek çözüm aşamasında kullanılabilir.

Literatürde genellikle KV'lerin kuasi-konveks fonksiyon yapısına uygun şekilde tercihlerde bulunmayacağı belirtilse de  $u(x)$ 'in lineer olma durumunu kontrol etmek için kuasi-konveksite testi de yapılacaktır.

Başka bir ifadeyle  $U(X)$  kuasi-konveks ve kuasi-konkav fonksiyon formlarının her ikisine de uyuyorsa KV kararları lineer bir fonksiyonla uyumludur. Çünkü lineer fonksiyon her iki fonksiyonun limitidir. Test adımları:

0. İterasyon sayacını  $i = 0$  olarak ata ve  $N$ ; maksimum iterasyon sayısı değerini belirle.
1.  $i \leftarrow i + 1$ , iki alternatif belirle, KV'den bu alternatifleri karşılaştırmasını iste. Tercih edilen alternatifi  $X_1$  ve ikinci sırada tercih edilen alternatifi  $X_2$  olarak belirle.
2.  $Y_2$  alternatifini  $X_1$  ve  $X_2$ 'nin konveks kombinasyonu  $Y_2 = 0.1X_1 + 0.9X_2$  olarak belirle. KV'den  $Y_2$  ile  $X_2$  alternatiflerini karşılaştırmasını iste. Eğer  $X_2$  seçilirse adım 3'e git. Aksi halde adım 4'e git.
3. DUR. KV tercihleri kuasi-konkav bir fonksiyona uygun, tutarlı değildir. KV (kuasi-konveks yapıyıda içeren) general monotonic yapıdadır.

4.  $Y_1 = 0.9X_1 + 0.1X_2$  olarak belirle. KV'den  $Y_1$  ile  $X_1$  alternatiflerini karşılaştırmasını iste.

(a) Eğer  $Y_1$  tercih edilir ve  $i=N$  ise adım 5'e git.

(b) Eğer  $X_1$  tercih edilir ve  $i=N$  ise adım 6'ya git.

(c) Eğer  $Y_1$  tercih edilir ve  $i < N$  ise adım 7'ye git.

(d) Eğer  $X_1$  tercih edilir ve  $i < N$  ise adım 1'e git.

5. DUR. KV tercihleri kuasi-konveks bir fonksiyona (lineer fonksiyona da) uygun, tutarlı değildir. KV fayda fonksiyonu  $U(X)$  kuasi-konkav bir yapıdadır.

6. DUR. KV tercihleri kuasi-konkav ve kuasi-konveks fonksiyon yapısının her ikisiyle de tutarlıdır. KV fayda fonksiyonu  $U(X)$  lineer bir yapıdadır.

7.  $i \leftarrow i + 1$ , iki yeni alternatif belirle, KV'den bu alternatifleri karşılaştırmasını iste. Tercih edilen alternatifi  $X_1$  ve ikinci sırada tercih edilen alternatifi  $X_2$  olarak belirle.

8.  $Y_2$  alternatifini  $X_1$  ve  $X_2$ 'nin konveks kombinasyonu  $Y_2 = 0.1X_1 + 0.9X_2$  olarak belirle. KV'den  $Y_2$  ile  $X_2$  alternatiflerini karşılaştırmasını iste. Eğer  $X_2$  seçilirse adım 9'a git. Aksi halde adım  $i < N$  ise adım 7'ye git ve eğer  $i=N$  ise adım 10'a git.

9. DUR. KV tercihleri kuasi-konkav bir fonksiyona uygun, tutarlı değildir. KV general monotonic yapıdadır.

10. DUR. KV tercihleri kuasi-konkav bir fonksiyona uygun ve tutarlıdır.

Bu yaklaşım KV'ye 2. Adımda iki soru sorulduktan sonra  $U(X)$  kuasi-konkav yapıya uygun değilse sonlanır. Dikkat edilirse test adımları kuasi-konkav yapıya uygunluk sağlanmadığında ya da N iterasyon sayısına ulaşıldığında sonlanmaktadır. Eğer  $U(X)$  gerçekten lineer formda ise algoritma N iterasyon sonunda 6. Adımda sonlanmaktadır. KV'ye sorulan soru sayısı bu durumda  $3N$ 'dir. Eğer  $U(X)$  kuasi-konkav formda ise algoritma 5. Adımda ya da N iterasyon sonunda 10. Adımda durmaktadır. KV'ye sorulan soru sayısı bu durumda doğrusal olmama (kuasi-konveks olmama) durumuna göre  $2N+1$  ve  $3N$  arasında ( $N \geq 1$  için) değişmektedir. Bu yaklaşım lineerlik durumunu her zaman doğru bir şekilde tespit etmektedir. Ayrıca fonksiyon gerçekte kuasi-konkav yapıda iken general-monotonic yapıyı seçmeyecektir.



### 3.5. Testlere Yönelik Yapılan Uygulama Sonuçları

Rassal olarak üretilen problemler üzerinde yukarıda açıklanan test yöntemleri uygulanmıştır. Alternatif kriter değerleri (0, 10) aralığındaki uniform dağılıma uygun olacak şekilde 100 adet domine olmamış alternatif  $X_{ij}$  (alternatif  $i:1, \dots, 100$ , kriter  $j:2, \dots, 6$ ) oluşturulmuştur. KV'nin verdiği cevapları simüle edebilmek için KV'nin aşağıdaki tiplerde fayda fonksiyonu;  $U(X)$  olduğu kabul edilmiştir (Köksalan ve Sagala, 1995).

Kuasi-konkav fonksiyon:

$$Max_i = \left\{ \sum_{j=1}^p w_j (10 - x_{ij})^t \right\}^{1/t}$$

$w_j$  değerleri  $j$  kriterinin ağırlıklarıdır ve (0,1) aralığındaki uniform dağılıma uygun olarak elde edilmiştir.  $t=2$  (kuadratik fonksiyon) ve  $t = db$  (Tchebycheff fonksiyonu) olarak alınmıştır.

Kuasi-konveks fonksiyon:

$$Max_i = \left\{ \sum_{j=1}^p w_j (x_{ij})^t \right\}^{1/t}$$

$w_j$  değerleri  $j$  kriterinin ağırlıklarıdır ve (0,1) aralığındaki uniform dağılıma uygun olarak elde edilmiştir.  $t=2$  (konveks kuadratik fonksiyon) ve  $t = db$  (konveks Tchebycheff fonksiyonu) olarak alınmıştır. Rassal bir fonksiyonla uniform dağılıma uygun olarak 100 farklı değer elde edilmiş ve bu değerler 100 alternatifin fayda değeri olarak rastgele atanmıştır. Bu değerler alternatiflerin kriter değerlerinden elde edilen fonksiyon değerinden bağımsızdır. İki alternatifin konveks kombinasyonu olan alternatiflere (Y) ait fayda değerleri de aynı şekilde üretilmiştir. Tüm denemelerde iterasyon sayısı maksimum 10 olarak belirlenmiştir. Bu sayı kuasi-konvekslik ve kuasi-konkavlık testlerinde 20 karşılaştırmayı ve bütünlük testinde ise 30 karşılaştırmayı gerekli kılar.

### 3.5.1. Kuasi-konkavlık durumunun testi

Kuadratik ve Tchebycheff bir fonksiyon kullanılarak bu yaklaşımın performansı test edilmiştir. Kuasi-konkav olmama durumunu test etmek için yapılan karşılaştırmalara yönelik ortalama, minimum ve maksimum karşılaştırma sayıları Çizelge 3.1.'de verilmiştir. Birçok problemde ortalama karşılaştırma sayısı oldukça küçüktür. Sadece birkaç problemde bu değerler yüksektir. Rassal fonksiyon içinde ortalamaların oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Teorem 1 ve 3'de rassal fonksiyonlara yönelik karşılaştırma miktarını azaltacak bir sonuç yoktur. Yani  $Y$  değerinin  $X_1$  ya da  $X_2$ 'ye yakın olması ya da  $X_1$  ve  $X_2$  değerlerinin birbirinde uzak seçilmesinin rassal fonksiyonlarda karşılaştırma miktarını etkilememektedir. Aslında  $U(Y)$ 'nin  $U(X_1)$  ve  $U(X_2)$ 'den büyük olma (kuasi-konkav olmama şartı) olasılığı  $1/3$ 'dür. Kuasi-konkav olmama şartını tespit edebilmenin beklenen değeri (iterasyon sayısı)  $3$ 'dür.  $3$  iterasyon ise bu algoritma da  $6$  karşılaştırma yapmayı gerektirir. Bu durum çözüm tablosunda rassal fonksiyonların ortalama karşılaştırma sayısı değeriyle de tutarlıdır (Köksalan ve Sagala, 1995).

Çizelge 3.1. Kuasi-konkav olmama durumunun tespitinde yapılan karşılaştırma miktarları (10 problem için)

u (X)	Kriter Sayısı	Karşılaştırma Miktarı		
		Ortalama	Minimum	Maksimum
<b>Konveks Kuadratik</b>	2	2,0	2	2
	3	2,6	2	4
	4	3,8	2	10
	5	2,8	2	6
	6	2,8	2	6
<b>Konveks Tchebycheff</b>	2	3,8	2	20
	3	4,2	2	10
	4	3,4	2	10
	5	2,6	2	4
	6	3,2	2	6
<b>Rassal</b>	2	6,8	2	20
	3	6,6	2	16
	4	5,8	2	10
	5	6,0	2	12
	6	9,2	2	16

### 3.5.2. Kuasi-konvekslik durumunun testi

Konveks kuadratik, konveks Tchebycheff ve rassal bir fonksiyon kullanılarak bu yaklaşımın performansı test edilmiştir. Kuasi-konveks olmama durumunu test etmek için yapılan karşılaştırmalara yönelik ortalama, minimum ve maksimum karşılaştırma sayıları Çizelge 3.2.'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde birçok problemde yaklaşımın oldukça hızlı sonuçlar verdiği, genellikle ilk iterasyonda sonuca ulaştığı görülmektedir.

Çizelge 3.2. Kuasi-konveks olmama durumunun tespitinde yapılan karşılaştırma miktarları (10 problem için)

u (X)	Kriter Sayısı	Karşılaştırma Miktarı		
		Ortalama	Minimum	Maksimum
<b>Kuadratik</b>	2	2,0	2	2
	3	2,4	2	4
	4	3,2	2	8
	5	3,6	2	8
	6	2,4	2	6
<b>Tchebycheff</b>	2	3,8	2	20
	3	4,6	2	20
	4	4,4	2	10
	5	6,0	2	14
	6	5,8	2	16

### 3.5.3. Bütünleşik test

Bu test sonucunda fonksiyonun lineer, kuasi-konkav ya da genel monoton yapıda olup olmadığı değerlendirilebilir. Yapılan denemelerde kuadratik, Tchebycheff, konveks kuadratik, konveks-Tchebycheff ve rassal bir fonksiyon kullanılarak bu yaklaşımın performansı test edilmiştir. Test sırasında yapılan karşılaştırmalara yönelik ortalama, minimum ve maksimum karşılaştırma sayıları Çizelge 3.3.'de verilmiştir. Bu çizelgede kuadratik ve Tchebycheff fonksiyonlar için gösterilen karşılaştırma miktarları, doğrusal

olmama durumu tespit edilinceye kadar yapılan karşılaştırma miktarını göstermektedir. Salminen ve ark. (1989) tarafından yapılan benzer bir çalışmayla (SKW) Bütünleşik Testin (BT) sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.3. Bütünleşik Testte (BT) yapılan karşılaştırma miktarları

u (X)	Kriter Sayısı	Karşılaştırma Miktarı (SKW)			Karşılaştırma Miktarı (BT)		
		Ort.	Min.	Maks.	Ort.	Min.	Maks.
<b>Kuadratik</b>	2	17,2	2	44	3,0	3	3
	3	-	-	-	3,6	3	6
	4	61,3	17	21	4,8	3	12
	5	-	-	-	5,4	3	12
	6	-	-	-	3,6	3	9
<b>Tchebycheff</b>	2	5,2	2	11	5,7	3	30
	3	-	-	-	6,9	3	30
	4	9,4	4	20	6,6	3	15
	5	-	-	-	9,0	3	21
	6	15,5	4	36	8,7	3	24
<b>Konveks Kuadratik</b>	2	-	-	-	2,0	2	2
	3	-	-	-	2,9	2	5
	4	-	-	-	4,7	2	14
	5	-	-	-	3,2	2	8
	6	-	-	-	3,2	2	8
<b>Konveks Tchebycheff</b>	2	-	-	-	4,8	2	30
	3	-	-	-	5,3	2	14
	4	-	-	-	4,1	2	14
	5	-	-	-	2,9	2	5
	6	-	-	-	3,8	2	8
<b>Rassal</b>	2	3,7	2	8	6,3	2	17
	3	-	-	-	4,4	2	11
	4	5,0	2	12	3,5	2	9
	5	-	-	-	7,6	2	20
	6	7,9	4	17	4,1	2	9

Yapılan tüm karşılaştırmalarda (sadece iki sonuç hariç) BT daha iyi sonuçlar vermiştir. Salminen ve ark. (1989) önerdiği yöntemde yapılan karşılaştırma sayısı kriter miktarındaki artışa bağlı olarak çok hızlı bir şekilde artmaktadır. BT yapılan karşılaştırma miktarları ise SKW'den çok daha düşüktür.

#### 4. TASARIM YAKLAŞIMLARI ve ARAŞTIRMA BULGULARI

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), Kart Sınıflandırması (KS) ve Birleşik Arayüz tasarım yöntemleri ile problemimiz çözülecektir. Göstergelerin sıralanması sırasında bulunan sonuçlar Karar Vericinin (KV) tercihlerinden etkilenmektedir. Sonuçta KV fayda fonksiyonu  $U(X)$  formu belirlenirse bu fonksiyon tipine en uygun olan yöntem seçilerek problemin çözümü aşamasında daha etkin bir şekilde kullanılabilir. Bu konuda literatürde şu ana kadar yapılan çalışmalar incelenip, konu hakkındaki teoriler ortaya konmuştur. Köksalan ve Sagala tarafından (1995) geliştirilen üç test yöntemi (Kuasi-Konkavlık Durumunun Testi, Kuasi-Konvekslik Durumunun Testi ve Bütünleşik Test) ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Bütünleşik Testin tüm durumlarda üstünlüğü görülmektedir.

Köksalan ve Sagala tarafından (1995) yapılan çalışmalarda önerilen yöntemler kesikli alternatif durumları için geçerlidir; ancak bu yöntemler kolaylık sürekli duruma da uyarlanabilir. Temel fark  $X_1$  ve  $X_2$ 'nin belirlenmesidir. Sürekli durumda mümkün çözümler kümesinde amaç fonksiyonlarından birini maksimize eden alternatif  $X_1$  ve diğerini maksimize eden alternatif  $X_2$  olarak belirlenir. Eğer çözüm uzayı konveks ise (birçok yöntemin başlangıçta varsaydığı gibi)  $X_1$  ve  $X_2$ 'nin konveks kombinasyonları olan  $Y_1$  ve  $Y_2$ 'de mümkün çözümler kümesinde olacaktır.

Kokpit ve arayüz tasarımı için önerilen ve detayları İkinci Bölümde açıklanan literatürdeki yöntemler genellikle subjektif esaslara dayanmaktadır. Tasarımın her aşamasında (başlangıç, prototip, ilk ürün, ürün, seri imalat) tekrarlanması gereken bu yöntemler pratik değildir. Önerilen yöntemler genellikle analitik değildir. Sadece matematiksel bir modele bağlı kalınarak tasarım yapılması kullanıcının bakış açısını tasarıma yeterli ölçüde yansıtmayabilir. Bu nedenle bu problemin çözümüne adapte edilen KS yaklaşımıyla tasarım problemi tekrar ele alınacaktır. Literatürde göstergelerin bir panel üzerine yerleştirilmesiyle ilgili belirli ve pratik birleşik bir tasarım yöntemi şu ana kadar

önerilmemiştir. Bu tarzdaki bir insan makine etkileşimi problemine çözüm aranırken birleşik tasarım yaklaşımı ile farklı bir bakış açısı kazanılarak daha iyi tasarım sonuçları elde edilebilir. *Sadece Nitel ya da Nicel yaklaşım sonuçlarını tek başlarına doğru kabul etmek yerine, her iki yaklaşımda elde edilen sonuçlar birleştirilebilir.*

#### 4.1. Nicel Arayüz Tasarımı Yaklaşımı

ÇKKV yaklaşımında, göstergeler ( $X_i$ ) panel üzerinde yerleştirilirken uçuş sırasında göstergelerin kullanımı ve sistemin bütünlüğüne olan faydaları göz önünde tutulmaktadır. Göstergenin kullanım sıklığı ve gösterge tarafından sunulan verilerin önemi (uçuş emniyetine olan etkisi) göstergenin sisteme olan faydasını belirlemektedir. Fayda sınıflarına göre göstergeler panel üzerine yerleştirilebilir. Her bir gösterge bir karar değişkeniyle ifade edilir. Uygun bir ÇKKV algoritması ile bu değişkenler fayda sınıflarına atanarak sıralanabilir

ÇKKV yaklaşımında kullanılan veriler en az 1500 saatlik uçuş tecrübesi olan 3 erkek pilottan elde edilmiştir. KV havacılık sektöründe 9 yıldır çalışan tecrübeli bir mühendistir. Denek pilotların yaşları 26 ile 40 arasındadır. Denekler Çizelge 4.1.'de sunulan göstergeleri (i) kullanım sıklığı ( $Z_{1i}$ ) ve göstergedeki bilgiyi yanlış anlamının uçuş emniyetine etkisi ( $Z_{2i}$ ) olmak üzere iki kritere göre 0-100 skalasına göre puanladılar. Denekler ayrıca helikopterin içinde gerçek uçuş pozisyonundaki oturma pozisyonlarını aldıktan sonra, kafa veya boyunlarını oynatmadan, gösterge panelindeki 24 lokasyona görülebilirlik açısından 0-100 skalasına göre puan verdiler. Her bir gösterge fayda sınıfına göre ve lokasyonlar ise görülebilirlik puan sırasına göre yukarıdan aşağıya dizildikten sonra en uygun lokasyonlara en faydalı göstergeler atanacaktır.

Çizelge 4.1. Göstergeler

Gösterge	Değişken	Gösterge	Değişken
Hız göstergesi	X <sub>1</sub>	Ana jeneratör yükmetre	X <sub>11</sub>
Pozisyon göstergesi	X <sub>2</sub>	Voltmetre	X <sub>12</sub>
Yükseklik göstergesi	X <sub>3</sub>	Saat	X <sub>13</sub>
Yakıt basınç göstergesi	X <sub>4</sub>	N1 göstergesi	X <sub>14</sub>
Yakıt miktar göstergesi	X <sub>5</sub>	EGT göstergesi	X <sub>15</sub>
Dual takometre	X <sub>6</sub>	Motor yağ basınç göstergesi	X <sub>16</sub>
Radyo pusula göstergesi	X <sub>7</sub>	Motor yağ sıcaklık gösterge	X <sub>17</sub>
Varyometre	X <sub>8</sub>	Transmisyon yağ basınç	X <sub>18</sub>
Torkmetre	X <sub>9</sub>	Transmisyon yağ sıcaklık	X <sub>19</sub>
Pusula	X <sub>10</sub>		

ÇKKV uygulama adımları:

- KV fayda fonksiyonunun U(X) formunun (konkav, konveks, lineer) uygun bir algoritma (Köksalan ve Sagala, 1995) ile bulunması,
- Tespit edilen U(X) formuna uygun olarak, interaktif bir ÇKKV yöntemi ile her bir göstergenin fayda sınıflarına atanması ve sıralanması,
- Görülebilirlik puanlarına göre Şekil 5.1.'deki pozisyonlar en iyiden en kötüye doğru sıralanması,
- Görülebilirlik puanları ve fayda sınıflarına göre göstergelerin uygun yerlere yerleştirilmesi (göstergeler birer karar değişkeniyle ifade edilmektedir ve bu sıralamaya göre ilk sırada bulunan göstergeden ve görülebilirlik puanı en yüksek olan konumdan başlanarak atama yapılacaktır)

Y <sub>21</sub>	Y <sub>17</sub>	Y <sub>13</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>9</sub>	Y <sub>13</sub>	Y <sub>17</sub>	Y <sub>21</sub>
Y <sub>22</sub>	Y <sub>18</sub>	Y <sub>14</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>14</sub>	Y <sub>18</sub>	Y <sub>22</sub>
Y <sub>23</sub>	Y <sub>19</sub>	Y <sub>15</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>7</sub>	Y <sub>11</sub>	Y <sub>15</sub>	Y <sub>19</sub>	Y <sub>23</sub>
Y <sub>24</sub>	Y <sub>20</sub>	Y <sub>16</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>8</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>16</sub>	Y <sub>20</sub>	Y <sub>24</sub>

Şekil 4.1. Göstergelere ait alternatif konumlar

## 4.2. Nitel Arayüz Tasarımı Yaklaşımı

ÇKKV yönteminde optimizasyon modelinin sonuçlarına göre tasarım yapılacaktır. Tasarıma yönelik sonuçlar optimizasyon modelinin uygun çözüm bulamaması halinde (sınırsız çözüm;  $\epsilon > 0$ ) Karar Vericinin (KV) tercihlerinden etkilenmektedir. Sonuçları KV'nin tercihlerine göre değişebilmektedir. Sadece matematiksel modele bağlı kalınarak tasarım yapılması kullanıcının bakış açısını tasarıma yeterli ölçüde yansıtmayabilir. Kullanıcılarının tasarlanacak ürüne yönelik düşünceleri iyi bir şekilde anlaşılmalıdır. Her bir kullanıcının ihtiyaçlarını tespit edecek şekilde daha detaylı bir inceleme yapılarak pilotların zihinlerinde saklı kalmış olan etmenlerin ortaya çıkarılması gerekmektedir. Bir tasarımcı kullanıcının zihninde oluşturduğu bağlantıları, bu bağlantıların nedenlerini bilmek ve elde ettiği sonuçları tasarıma yansıtmak için bunları yorumlamak zorundadır. KS yöntemi kullanıcıyı tasarım sürecine katarak kavramsal modelin belirlenmesine fırsat sağlar (Robertson, 2001). Bu nedenle bu problemin çözümüne adapte edilen KS yaklaşımıyla tasarım problemi tekrar ele alınacaktır. KS yönteminin en önemli faydası; kullanıcı kartları kendi isteğine göre gruplandırırken (dizerken) yaptığı yorumların dinlenmesidir ki böylelikle kullanıcının zihinsel modelleri hakkında daha çok bilgiye ulaşılır. (Tullis & Wood, 2004)

Geleneksel yaklaşımlarda tasarım sürecinde genellikle göz ardı edilen ve aslında büyük önemi olan faktörlerden birisi bu sürece kullanıcı ile birlikte kullanılabilirlik konusundaki uzman bir personelin dâhil edilmesidir (Stein, 2000). Bilgi tasarımına yönelik uygulamalarda dikkate alınması gereken birçok konu vardır. Önemli olan elde edilecek bilgileri kullanışlı ve anlamlı bir şekilde organize edebilmektir. KS seansları ile bu tür problemlere çözüm bulunabilir. KS seanslarının kullanıcı ihtiyaçlarının anlaşılmasında ve yorumlanmasında büyük faydası vardır (Gould ve ark., 1997). Pilotların her bir göstergenin konumuna yönelik tercihleri dikkate alınacaktır. Geliştirerek bu sürece uygun hale getirdiğimiz KS seanslarında pilotlar kartlar üzerine



yazılmış gösterge isimlerini panel üzerindeki uygun konumlara yerleştirerek tasarım sürecine katılacaklar.

Pilotların belirli bir gösterge için lokasyon tercihlerinin sıklıklarına göre gösterge paneli tasarlanacaktır. KS yönteminde ilk aşama konu listesinin oluşturulmasıdır. Burada dikkat edilmesi gereken birkaç önemli husus vardır. Liste bu yöntemin uygulanmasını engellememeli, ne çok kısa ne de çok uzun olmalıdır. Eğer liste çok kısa olursa kullanıcıların zihinsel modelleriyle ilgili pek fazla bilgi edinilmeyebilir, çok uzun olması halinde ise kullanıcıların kafası karışabilir. Bu nedenlerle Çzielge 4.1.'de verilen en önemli uçuş göstergeleri listemizi oluşturmaktadır.

Geliştirilerek uyarlanmış KS seanslarının uygulama adımları:

- Üzerinde uygun lokasyonlar bulunan bir örtüyle genel maksat helikopteri gösterge paneli kaplanır.
- Denek pilot genel maksat helikopterine biner, oturma pozisyonunu ve koltuğu (gerekliyse) ayarlar. Yapılan deney hakkında her pilot bilgilendirilir.
- Üzerinde göstergelerin isimlerinin yazı olduğu kartlar karıştırılarak pilota verilir.
- Denekten bu kartları panel üzerindeki 24 lokasyondan en uygun olana (sesli düşünürken) iğneleyerek yerleştirmesi istenir.
- Pilotun (sesli düşünürken) yaptığı yorumlar dinlenir ve not edilir. Pilotların bazı göstergeleri niye yan yana koymaya çalışırken, diğerlerini ayrı tuttuğu durumlar gibi çeşitli durumların nedenleri anlaşılmasına çalışılır.
- Pilotun yorumlarından anahtar cümleler oluşturulur. Her pilottan kendi söylediği anahtar cümlelerden en önemli gördüğü 5 tanesini seçmesi istenir.

- Seçilen bu 5 anahtar cümle denek pilot tarafından önem derecesine göre 1'den 5'e (1: En iyi, 5: En kötü) kadar sıralanır.
- Sonuçlar değerlendirilir, tüm pilotlara ait anahtar cümlelerin ortalama önem puanı hesaplanır, pilotların zihinsel modellerini en iyi şekilde yansıtan bir tasarım yapılmaya çalışılır.
- Belirli bir lokasyonun spesifik bir gösterge için pilotlar tarafından seçilme sıklığı göz önünde tutularak gösterge bu lokasyona yerleştirilir.
- Söylenilen anahtar cümlelerle ortaya çıkan tasarım arasında ilişki kurmaya çalışılır.

Katılımcılar tasarlanacak ürünün son kullanıcılarıdır. Tecrübeli pilotlardan seçilmiş olan bu pilotlar panel tasarımına kendi gereksinim ve beklentilerini yansıtabilirler. Bu pilotlar tecrübesi olanlara nazaran daha fazla sayıda uçuş kritik durumla karşılaşmışlardır. Bu çalışmaya en az 1500 saatlik uçuş tecrübesine sahip 8 erkek pilot katılmıştır. Uçuş tecrübe kriteri ÇKKV yaklaşımındaki pilotlarla aynıdır. Bunun nedeni her iki yaklaşımdan elde edilen sonuçların karşılaştırılarak birleştirilecek olmasıdır. KS seanslarındaki katılımcıların yaşları 29-40 arasında değişmektedir.

### **4.3. Birleşik Arayüz Tasarım Yaklaşımı**

Bahsedilen Nitel ve Nicel yaklaşımların farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu tarzdaki bir insan makine etkileşimi problemine çözüm aranırken birleşik tasarım yaklaşımı ile farklı bir bakış açısı kazanılarak daha iyi tasarım sonuçları elde edilebilir. Sadece Nitel ya da Nicel yaklaşım sonuçlarını tek başlarına doğru kabul etmek yerine, her iki yaklaşımda elde edilen sonuçlar birleştirilebilir. Daha önceden açıklanan kullanılabilirlik değerlendirme yöntemleri (Bakınız Şekil 3.1.) bu aşamada kullanılabilir. Ancak en kullanışlı tasarımın seçiminde ya da her iki panel tasarımının

birleştirilerek daha iyi bir tasarımın elde edilmesi sırasında kullanılabilirlik değerlendirme yöntemlerinin uygulanabilmesi için iki panelin prototiplerinin yapılmasına ihtiyaç vardır. Ancak bu prototiplerinin üretimi oldukça yüksek bütçeler gerektirmektedir.

Böyle bir bütçe ve üretim imkânına sahip olmamız nedeniyle daha pratik ve uygulanabilir bir yöntem olarak anket uygulanmasına karar verildi. Bir anket hazırlanarak bu anket vasıtası ile her bir göstergenin iki farklı tasarımdaki yeri Çizelge 4.2.'deki kriterlere göre pilotlar tarafından puanlanarak ortalama memnuniyet puanları hesaplandı. İki tasarımda (KS, ÇKKV) aynı göstergeye ait farklı konumlardan en yüksek puanı alan yer o göstergenin en uygun pozisyonu olarak seçildi. Bu karşılaştırma iki çözümdeki tüm gösterge pozisyonları için yapıldı. Uygun konular ÇKKV ve KS sonuçlarından çekilerek birleşik bir tasarım bulundu.

Çizelge 4.2. Kullanıcı memnuniyeti değerlendirme kriterleri

Ki	KRİTERLER (Ki)
1	<b>Çapraz kontrol:</b> Aynı anda birden fazla göstergeye bakma durumu halinde göstergenin konumunun uygunluğu
2	<b>Görüş alanı:</b> Göstergede sunulan uçuş (sürat, pozisyon, vb.) ya da diğer sistem (sıcaklık, basınç, tork vb.) bilgilerinin okunabilirliği ve algılanabilirliği açısından görüş alanı düşünülürse göstergenin konumunun uygunluğu
3	<b>Motor, transmisyon ve uçuş göstergelerinin kontrol kolaylığı:</b> Aynı sisteme ait göstergelerin birbirine yakınlığı ve yerleşim şekli; örneğin uçuş sistemi göstergeleri ve motor göstergelerinin ayrı gruplar oluşturması, ya da yakıt sistemine ait basınç ve miktar göstergelerinin, motor sistemine ait sıcaklık ve basınç göstergelerinin konumları gibi
4	<b>Görerek ya da görmeyerek uçuş:</b> Tecrübeden ziyade 2 saatlik bir uçuşta (görerek ya da aletli uçuş durumunda) göstergelerin konumu, kullanılabilirliği
5	<b>Panelin ergonomik yapısı, tasarımı ve estetiği:</b> Göstergelerin gözün seviyesine uygunluğu, bakış açısı ve panelin ergonomik yapısı
6	<b>Her bir göstergenin kullanım sıklığı:</b> Tecrübeden ziyade 2 saatlik bir normal uçuş düşünüldüğünde göstergenin kullanım sıklığı ve göstergenin konumunun uygunluğu

#### 4.4. Nicel Yaklaşımın Sonuçları

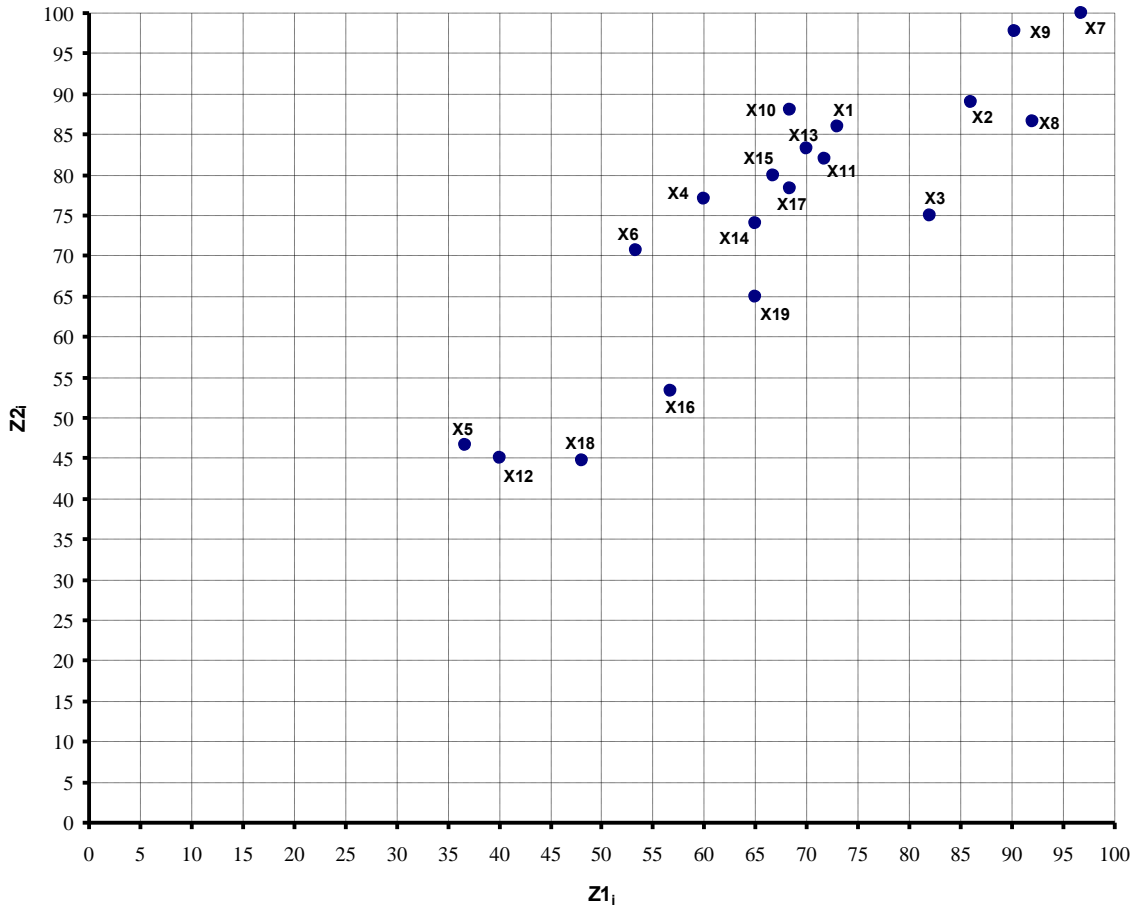
Her bir göstergeye pilotlar tarafından verilen ortalama puanlar Çizelge 4.3.'de sunulmuştur. Göstergelere (i) iki kriter için 0-100 skalasına göre verilen puanların ortalamaları Çizelge 4.3.'deki  $Z_{1i}$  ve  $Z_{2i}$  değerleridir. Bu değerlere göre göstergeler arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 6.1.'deki grafik çizilmiştir. Bu grafik çeşitli etkin sınırların (efficient frontier) birleşiminden oluşmaktadır.

Çizelge 4.3. Kriterlere göre göstergelerin aldığı puanlar

Gösterge ( $X_i$ )	Ort ( $Z_{1i}$ )	Std.	Ort ( $Z_{2i}$ )	Std.
$X_1$	73.0	11	86.0	5.3
$X_2$	86.0	3.6	89.0	5.3
$X_3$	82.0	7.5	75.0	13
$X_4$	60.0	8.7	77.0	2.6
$X_5$	36.7	12	46.7	12
$X_6$	53.3	20	70.7	1.2
$X_7$	96.7	5.8	100.	0
$X_8$	92.0	2.6	86.7	5.8
$X_9$	90.3	0.6	97.7	2.5
$X_{10}$	68.3	5.8	88.0	3.5
$X_{11}$	71.7	10	82.0	2.6
$X_{12}$	40.0	10	45.0	5
$X_{13}$	70.0	10	83.3	2.9
$X_{14}$	65.0	5	74.0	15
$X_{15}$	66.7	7.6	80.0	0
$X_{16}$	56.7	5.8	53.3	5.8
$X_{17}$	68.3	7.6	78.3	2.9
$X_{18}$	48.0	16	44.7	5
$X_{19}$	65.0	5	65.0	13

Şekil 4.2.'de verilen grafik incelendiğinde KV'ye ait fonksiyonun tipi belirlenirken, Köksalan ve Sagala (1995) tarafından önerilen algoritmada kullanılacak aday noktaların sayısının az olduğunu görmekteyiz, çünkü birkaç alternatif birbirine göre etkin durumdadır. Literatürde fonksiyonun tipinin belirlenmesinde önerilen iterasyon sayısının daha karmaşık yapıdaki

problemler için bile 4 olarak alındığı tespit edilmiştir. Bu nedenle burada iterasyon değeri  $N=3$  olarak belirlenmiştir. Karar vericiye ait fayda fonksiyonunun  $U(X)$  tipinin belirlenmesi için yapılacak test sırasında karşılaştırma için kullanılacak değişkenler  $X_3 - X_{10}$ ,  $X_{19} - X_6$  ve  $X_5 - X_{18}$  olarak belirlendi.



Şekil 4.2. Alternatif göstergelerin iki kritere göre grafiği

Köksalan & Sagala (1995) tarafından önerilen fayda fonksiyon tipi test algoritması kullanılarak KV'ye ait fayda fonksiyonunun tipinin lineer olduğu bulundu. Böyle bir sonuç Şekil 4.2.'deki grafik incelendiğinde olası gözükmemektedir, çünkü noktalar birbirlerine oldukça yakındır. Karar vericiye ait fayda fonksiyonu  $U(X)$  tipi  $f(X_i) = \sum \beta_j X_{ij}$  şeklinde lineer olduğu belirlendi.  $U(X)$  tipi belirlenirken uygulanan test basamakları aşağıdadır:

*Adım 0*  $i=0$ ,  $N=3$

*Adım 1*  $i=1$ , Alternatifler  $X_3$  ve  $X_{10}$ . KV tercihi  $X_3$

*Adım 2*  $Y_2 = 0.1X_3 + 0.9X_{10}$ ,  $Y_2 = (69.7, 86.7)$ .  $Y_2$  ve  $X_{10}$  için KV tercihi  $E_2$

*Adım 4-d*  $Y_1 = 0.9X_3 + 0.1X_{10}$ ,  $Y_1 = (80.63, 76.3)$ .  $Y_1$  ve  $X_3$  için KV tercihi  $X_3$

*Adım 1*  $i=2$ , Alternatifler  $X_{19}$ ,  $X_6$ . KV tercihi  $X_{19}$ .

*Adım 2*  $Y_2 = 0.1X_{19} + 0.9X_6$ ,  $Y_2 = (54.5, 70.1)$ .  $Y_2$  ve  $X_6$  için KV tercihi  $E_2$

*Adım 4-d*  $Y_1 = 0.9X_{19} + 0.1X_6$ ,  $Y_1 = (63.83, 65.56)$ .  $Y_1$  ve  $X_{19}$  için KV tercihi  $X_{19}$

*Adım 1*  $i=3$ , Alternatifler  $X_5$ ,  $X_{18}$ . KV tercihi  $X_{18}$ .

*Adım 2*  $Y_2 = 0.1X_{18} + 0.9X_5$ ,  $Y_2 = (37.8, 46.46)$ .  $Y_2$  ve  $X_5$ , KV tercihi  $E_2$

*Adım 4-d*  $Y_1 = 0.9X_{18} + 0.1X_5$ ,  $Y_1 = (46.87, 44.86)$ .  $Y_1$  ve  $X_{18}$  için KV tercihi  $X_{18}$

*Adım 6*  $i=N=3$ ,  $U(X)$  Lineer

Köksalan ve Ulu (2003) tarafından önerilen yöntem adapte edilmiştir. Bu yöntem ile alternatifler (göstergeler) en tercih edilenden (önemli) en az tercih edilene kadar sıralanacaktır. Karar vericiye ait fayda fonksiyonunun  $U(X)$  tipi belirlenirken iterasyon sayısı 3 olarak belirlenmişti ve KV 3 karşılaştırma yapmıştır. Bu karşılaştırma sonuçları da aşağıdaki algoritmayı hızlandırmak için ve KV'nin fayda fonksiyonu çözüm uzayının daraltılmasında birer kısıt olarak kullanılacaktır. Alternatifler en çok tercih edilenden başlamak üzere sıralanır. Bir alternatif bir sınıfa yerleştiğinde aday alternatifler arasından çıkartılır ve kalan alternatiflerin hangisinin bir sonraki en iyi fayda sınıfına girebileceği değerlendirilir. Algoritma detayları aşağıda açıklanmıştır.

#### *Sınıflandırma Algoritması:*

*Adım 0.*  $C_i$   $i$  sınıfına yerleştirilen alternatif olarak tanımlanır. ( $i= 1 \dots 19$  burada  $i=1$  en iyi sınıfı ve  $i=19$  en kötü sınıf temsil eder).

$T$  henüz atanacağı sınıf belirlenmemiş olan alternatiflerin kümesidir.

$S$  konveks domine olmayan  $T$ 'deki alternatiflerin kümesidir.

$b$  atama yapılmamış sınıflar içinde kalan en iyi sınıfın indeksidir.

Başlangıç için  $b=1$ 'dir ve her bir küme boştur.

*Adım 1.* Eğer  $|T|=0$  ise 2.Adıma git.

Aksi halde S kümesinden bir alternatif  $X_m$  seç.

Eğer  $|S|=1$ ,  $X_m$  T'de bulunan diğer tüm alternatifleri domine eder.  $X_m$  alternatifi  $C_b$  'ye yerleştirilir.  $T \leftarrow T - \{X_m\}$  ve  $b \leftarrow b+1$  yapılır.

Adım 1 tekrarlanır.

Aksi halde S'den 2 alternatif seçilir.

$X_m$  ve  $X_n$  , için aşağıdaki LP çözülür

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \varepsilon \\ \text{s.t.} \quad & \beta(X_n - X_m) \geq \varepsilon \\ & \beta(X_p - X_s) \geq \varepsilon \text{ for all } X_p \gg X_s \\ & \beta \geq 0, \varepsilon \text{ URS} \end{aligned}$$

Eğer  $\varepsilon = 0$  ise,  $X_m \gg X_n$  ( $X_m$   $X_n$ 'ne tercih edilir).

$S \leftarrow S - \{X_n\}$  yapılır. S'deki alternatiflerin tamamı yukarıdaki LP'ye göre birbiri ile karşılaştırılıncaya kadar Adım 1 tekrarlanır.

Eğer  $|S| \geq 2$  ve alternatiflerin tümü LP'ye göre karşılaştırıldığında  $\varepsilon > 0$  ise, algoritma iki değişken arasında bir karar verememiştir.

KV'den S'de kalan değişkenlerden en önemlisini seçmesi istenir.

$X_p$  KV'nin en çok tercih ettiği alternatif olsun.  $X_p$   $C_b$ 'ye atanır.

$T \leftarrow T - \{X_p\}$  ve  $b \leftarrow b+1$  yapılır.

KV'nin tercihi göre  $\beta(X_p - X_s) \geq \varepsilon$  for all  $X_p \gg X_s$  kısıtı eklenir.

Böylelikle model KV'nin kararlarını dikkate alarak (çözüm uzayı daraldığı için) daha hızlı çözümler verir.

Adım 1 tekrarlanır.

*Adım 2.* DUR, tüm alternatifler sınıflara atandı

Karar vericinin verdiği bilgiler ve tercihleri doğrultusunda LP'de düzenleme yapılmaktadır. Algoritmanın uygulama adımları Çizelge 4.4.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Çözüm aşamaları

b	T <sub>b</sub>	S	LP çözümü (ε)	S ← S - {X <sub>n</sub> }	C <sub>b</sub>	T <sub>b+1</sub> ← T <sub>b</sub> - {C <sub>b</sub> }
1	T <sub>1</sub>	S={X <sub>7</sub> }	-	S={X <sub>7</sub> },  S =1	X <sub>7</sub>	T <sub>2</sub> ← T <sub>1</sub> - {X <sub>7</sub> }
2	T <sub>2</sub>	S={X <sub>8</sub> , X <sub>9</sub> }	ε>0 X <sub>n</sub> =X <sub>8</sub> , X <sub>m</sub> =X <sub>9</sub> ve X <sub>n</sub> =X <sub>9</sub> , X <sub>m</sub> =X <sub>8</sub> için <b>(KV tercihi X<sub>9</sub>)</b>	S={X <sub>9</sub> } <sup>1</sup> ,  S =1	X <sub>9</sub>	T <sub>3</sub> ← T <sub>2</sub> - {X <sub>9</sub> }
3	T <sub>3</sub>	S={X <sub>2</sub> , X <sub>8</sub> }	ε=0 X <sub>n</sub> =X <sub>2</sub> ve X <sub>m</sub> =X <sub>8</sub> için. X <sub>8</sub> » X <sub>2</sub>	S={X <sub>8</sub> },  S =1	X <sub>8</sub>	T <sub>4</sub> ← T <sub>3</sub> - {X <sub>8</sub> }
4	T <sub>4</sub>	S={X <sub>2</sub> }	-	S={X <sub>2</sub> },  S =1	X <sub>2</sub>	T <sub>5</sub> ← T <sub>4</sub> - {X <sub>2</sub> }
5	T <sub>5</sub>	S={X <sub>1</sub> , X <sub>3</sub> } <sup>2</sup>	ε>0 X <sub>m</sub> ,X <sub>n</sub> (X <sub>1</sub> ,X <sub>3</sub> ) iki durumu için <b>(KV tercihi X<sub>1</sub>)</b>	S={X <sub>1</sub> },  S =1	X <sub>1</sub>	T <sub>6</sub> ← T <sub>5</sub> - {X <sub>1</sub> }
6	T <sub>6</sub>	S={X <sub>3</sub> }	-	S={X <sub>3</sub> },  S =1	X <sub>3</sub>	T <sub>7</sub> ← T <sub>6</sub> - {X <sub>3</sub> }
7	T <sub>7</sub>	S={X <sub>10</sub> }	-	S={X <sub>10</sub> },  S =1	X <sub>10</sub>	T <sub>8</sub> ← T <sub>7</sub> - {X <sub>10</sub> }
8	T <sub>8</sub>	S={X <sub>11</sub> , X <sub>13</sub> }	ε=0 X <sub>n</sub> =X <sub>13</sub> ve X <sub>m</sub> =X <sub>11</sub> için. X <sub>11</sub> » X <sub>13</sub>	S={X <sub>11</sub> },  S =1	X <sub>11</sub>	T <sub>9</sub> ← T <sub>8</sub> - {X <sub>11</sub> }
9	T <sub>9</sub>	S={X <sub>13</sub> }	-	S={X <sub>13</sub> },  S =1	X <sub>13</sub>	T <sub>10</sub> ← T <sub>9</sub> - {X <sub>13</sub> }
10	T <sub>10</sub>	S={X <sub>15</sub> , X <sub>17</sub> }	ε>0 X <sub>m</sub> ,X <sub>n</sub> (X <sub>15</sub> ,X <sub>17</sub> ) iki durumu için <b>(KV tercihi X<sub>15</sub>)</b>	S={X <sub>15</sub> },  S =1	X <sub>15</sub>	T <sub>11</sub> ← T <sub>10</sub> - {X <sub>15</sub> }
11	T <sub>11</sub>	S={X <sub>17</sub> }	-	S={X <sub>17</sub> },  S =1	X <sub>17</sub>	T <sub>12</sub> ← T <sub>11</sub> - {X <sub>17</sub> }
12	T <sub>12</sub>	S={X <sub>4</sub> , X <sub>14</sub> }	ε=0 X <sub>n</sub> =X <sub>4</sub> ve X <sub>m</sub> =X <sub>14</sub> için. X <sub>14</sub> » X <sub>4</sub>	S={X <sub>14</sub> },  S =1	X <sub>14</sub>	T <sub>13</sub> ← T <sub>12</sub> - {X <sub>14</sub> }
13	T <sub>13</sub>	S={X <sub>4</sub> , X <sub>19</sub> }	ε=0 X <sub>n</sub> =X <sub>19</sub> ve X <sub>m</sub> =X <sub>4</sub> için. X <sub>4</sub> » X <sub>19</sub>	S={X <sub>4</sub> },  S =1	X <sub>4</sub>	T <sub>14</sub> ← T <sub>13</sub> - {X <sub>4</sub> }
14	T <sub>14</sub>	S={X <sub>19</sub> } <sup>3</sup>	-	S={X <sub>19</sub> },  S =1	X <sub>19</sub>	T <sub>15</sub> ← T <sub>14</sub> - {X <sub>19</sub> }
15	T <sub>15</sub>	S={X <sub>6</sub> , X <sub>16</sub> }	ε=0 X <sub>n</sub> =X <sub>16</sub> ve X <sub>m</sub> =X <sub>6</sub> için. X <sub>6</sub> » X <sub>16</sub>	S={X <sub>6</sub> },  S =1	X <sub>6</sub>	T <sub>16</sub> ← T <sub>15</sub> - {X <sub>6</sub> }
16	T <sub>16</sub>	S={X <sub>16</sub> }	-	S={X <sub>16</sub> },  S =1	X <sub>16</sub>	T <sub>17</sub> ← T <sub>16</sub> - {X <sub>16</sub> }
17	T <sub>17</sub>	S={X <sub>12</sub> , X <sub>18</sub> } <sup>4</sup>	ε=0 X <sub>n</sub> =X <sub>12</sub> ve X <sub>m</sub> =X <sub>18</sub> için. X <sub>18</sub> » X <sub>12</sub>	S={X <sub>18</sub> },  S =1	X <sub>18</sub>	T <sub>18</sub> ← T <sub>17</sub> - {X <sub>18</sub> }
18	T <sub>18</sub>	S={X <sub>5</sub> , X <sub>12</sub> }	ε=0 X <sub>n</sub> =X <sub>5</sub> ve X <sub>m</sub> =X <sub>12</sub> için. X <sub>12</sub> » X <sub>5</sub>	S={X <sub>12</sub> },  S =1	X <sub>12</sub>	T <sub>19</sub> ← T <sub>18</sub> - {X <sub>12</sub> }
19	T <sub>19</sub>	S={X <sub>5</sub> }	-	S={X <sub>5</sub> },  S =1	X <sub>5</sub>	T <sub>20</sub> ← T <sub>19</sub> - {X <sub>5</sub> }
20	T <sub>20</sub>	T = S =0	DUR, alternatifler atandı.	-	-	-

Sınıflandırma algoritmasının uygulanmasıyla elde edilen 19 göstergenin yerleşim sırası Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

<sup>1</sup> KV'nin verdiği bilgiler LP'ya o noktadan itibaren dahil edilmektedir.

<sup>2</sup> X<sub>10</sub> T'deki alternatifler tarafından konveks domine değildir, ancak KV X<sub>3</sub>'ü X<sub>10</sub>'a tercih etmektedir. (Fayda fonksiyonunu test: Adım 1, : i=1), bu nedenle X<sub>10</sub> S'den elenmiştir.

<sup>3</sup> X<sub>6</sub> T'deki alternatifler tarafından konveks domine değildir, ancak KV X<sub>19</sub>'ü X<sub>6</sub>'ya tercih etmektedir. (Fayda fonksiyonunu test: Adım 1, : i=2), bu nedenle X<sub>6</sub> S'den elenmiştir.

<sup>4</sup> X<sub>5</sub> T'deki alternatifler tarafından konveks domine değildir, ancak KV X<sub>18</sub>'i X<sub>5</sub>'e tercih etmektedir. (Fayda fonksiyonunu test: Adım 1, : i=3), bu nedenle X<sub>5</sub> S'den elenmiştir.



Çizelge 4.5. Göstergelerin yerleşim sırası

Sıra	X <sub>i</sub>	Gösterge	Sıra	X <sub>i</sub>	Gösterge
1	X <sub>7</sub>	Radyo pusula göstergesi	11	X <sub>17</sub>	Motor yağ sıcaklık
2	X <sub>9</sub>	Torkmetre	12	X <sub>14</sub>	N1 göstergesi
3	X <sub>8</sub>	Varyometre	13	X <sub>4</sub>	Yakıt basınç göstergesi
4	X <sub>2</sub>	Pozisyon göstergesi	14	X <sub>19</sub>	Transmisyon yağ sıcaklık
5	X <sub>1</sub>	Hız göstergesi	15	X <sub>6</sub>	Dual takometre
6	X <sub>3</sub>	Yükseklik göstergesi	16	X <sub>16</sub>	Motor yağ basınç
7	X <sub>10</sub>	Pusula	17	X <sub>18</sub>	Transmisyon yağ basınç
8	X <sub>11</sub>	Ana jeneratör yükmetre	18	X <sub>12</sub>	Voltmetre
9	X <sub>13</sub>	Saat	19	X <sub>5</sub>	Yakıt miktar
10	X <sub>15</sub>	EGT göstergesi			

Göstergelerin yerleşebileceği 24 alternatif konum görülebilirlik açısından 0-100 skalasına göre puanlamıştır. 24 lokasyon için ortalama görülebilirlik puanları Çizelge 4.6'da sunulmuştur.

Çizelge 4.6. Görülebilirlik puanları (L:Sol, R:Sağ Koltuk)

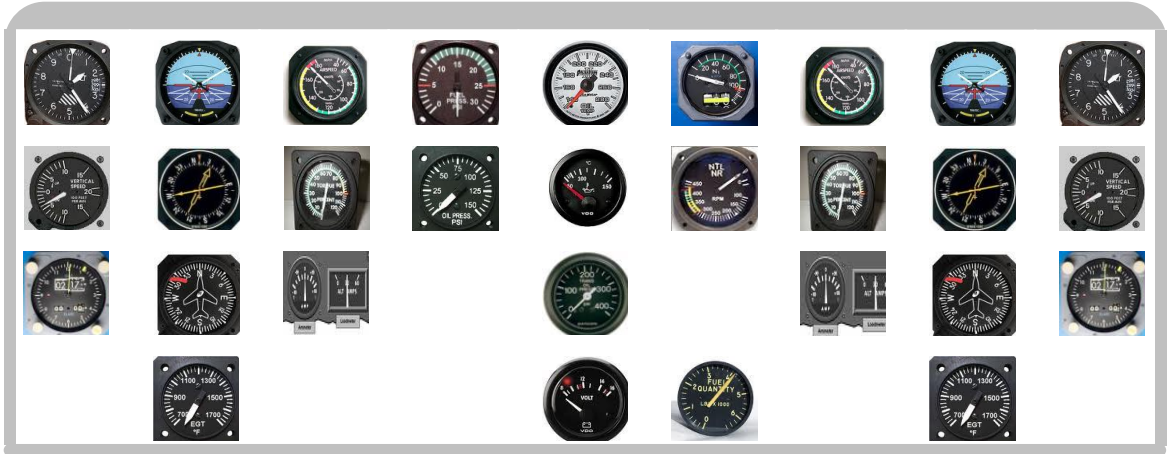
Konum	L	R	L	R	L	R	Ort.	Konum	L	L	L	Ort.
Y <sub>1</sub>	88	86	89	86	88	87	87.3	Y <sub>13</sub>	94	95	95	94.7
Y <sub>2</sub>	87	86	88	87	87	86	86.8	Y <sub>14</sub>	96	99	99	98.0
Y <sub>3</sub>	86	84	87	85	87	84	85.5	Y <sub>15</sub>	90	89	90	89.7
Y <sub>4</sub>	85	84	86	83	88	84	85.0	Y <sub>16</sub>	86	87	85	86.0
Y <sub>5</sub>	88	89	86	87	89	89	88.0	Y <sub>17</sub>	98	95	96	96.3
Y <sub>6</sub>	86	87	88	88	87	87	87.2	Y <sub>18</sub>	100	99	100	99.7
Y <sub>7</sub>	86	86	88	87	87	86	86.7	Y <sub>19</sub>	92	91	92	91.7
Y <sub>8</sub>	86	86	87	87	86	86	86.3	Y <sub>20</sub>	88	88	89	88.3
Y <sub>9</sub>	87	88	87	88	87	88	87.5	Y <sub>21</sub>	93	94	93	93.3
Y <sub>10</sub>	87	88	86	88	85	88	87.0	Y <sub>22</sub>	97	98	98	97.7
Y <sub>11</sub>	84	86	84	85	86	87	85.3	Y <sub>23</sub>	89	89	90	89.3
Y <sub>12</sub>	87	88	85	87	84	86	86.2	Y <sub>24</sub>	85	87	85	85.7

Mevcut genel maksat helikopterlerinde sağ (R) ve sol koltukta (L) oturan pilotlar gösterge panelinde  $Y_1 - Y_{12}$  arasındaki lokasyonlarda bulunan göstergeleri de kontrol etmektedir. Bu nedenle bu noktalara aynı pilot tarafından iki kez (sağ ve sol koltukta otururken) puan verilmiştir. Lokasyonlar görülebilirlik puanlarına göre yukarıdan aşağıya doğru sıralanır. Çizelge 4.5. ve 4.6'daki sonuçlar birleştirilirse, Çizelge 4.7.'de verilen çözüm elde edilir.

Çizelge 4.7. Nicel yaklaşım sonuçları

Sıra	Konum	Puan	$X_i$	Gösterge
1	Y <sub>18</sub>	99.7	X <sub>7</sub>	Radyo pusula göstergesi
2	Y <sub>14</sub>	98.0	X <sub>9</sub>	Torkmetre
3	Y <sub>22</sub>	97.7	X <sub>8</sub>	Varyometre
4	Y <sub>17</sub>	96.3	X <sub>2</sub>	Pozisyon göstergesi
5	Y <sub>13</sub>	94.7	X <sub>1</sub>	Hız göstergesi
6	Y <sub>21</sub>	93.3	X <sub>3</sub>	Yükseklik göstergesi
7	Y <sub>19</sub>	91.7	X <sub>10</sub>	Pusula
8	Y <sub>15</sub>	89.7	X <sub>11</sub>	Ana Jeneratör Yükmetre
9	Y <sub>23</sub>	89.3	X <sub>13</sub>	Saat
10	Y <sub>20</sub>	88.3	X <sub>15</sub>	EGT göstergesi
11	Y <sub>5</sub>	88.0	X <sub>17</sub>	Motor yağ sıcaklık
12	Y <sub>9</sub>	87.5	X <sub>14</sub>	N1 göstergesi
13	Y <sub>1</sub>	87.3	X <sub>4</sub>	Yakıt basınç göstergesi
14	Y <sub>6</sub>	87.2	X <sub>19</sub>	Transmisyon yağ sıcaklık
15	Y <sub>10</sub>	87.0	X <sub>6</sub>	Dual takometre
16	Y <sub>2</sub>	86.8	X <sub>16</sub>	Motor yağ basınç
17	Y <sub>7</sub>	86.7	X <sub>18</sub>	Transmisyon yağ basınç
18	Y <sub>8</sub>	86.3	X <sub>12</sub>	Voltmetre
19	Y <sub>12</sub>	86.2	X <sub>5</sub>	Yakıt miktar
20	Y <sub>16</sub>	86.0	-	-
21	Y <sub>24</sub>	85.7	-	-
22	Y <sub>3</sub>	85.5	-	-
23	Y <sub>11</sub>	85.3	-	-
24	Y <sub>4</sub>	85.0	-	-

Çizelge 4.7.'deki Nicel yaklaşım sonuçları kullanılarak Şekil 4.3.'deki gösterge paneli tasarımı elde edilmiştir. Bu panel tasarımı incelendiğinde motor sistemleri ve navigasyon (uçuş) sistemlerinin farklı gruplar oluşturduğu görülmektedir. Uçuş göstergeleri kısmında çıkan EGT ve Ana Jeneratör Yükmetre gibi motor sistemine ait göstergelerin de Y<sub>3</sub> ve Y<sub>4</sub> vb. lokasyonlara yerleştirilebileceği değerlendirilmektedir. Nitel yaklaşım ile bu yaklaşımın sonuçları kullanıcı memnuniyet durumları göz önünde tutularak birleştirilirse daha iyi sonuçlar elde edilebilir.



Yükseklik	Pozisyon	Hız	Yakıt Basınç	Motor Yağ Sıcaklık	N1	Hız	Pozisyon	Yükseklik
Varyomet	Radyo Pusula	Torkmetre	Motor Yağ Basınc.	XMSN Yağ Sıcaklık	Dual Takometre	Torkmetre	Radyo Pusula	Varyomet
Saat	Pusula	Yükmetre	Y <sub>3</sub>	XMSN Yağ Basınc.	Y <sub>11</sub>	Yükmetre	Pusula	Saat
	EGT		Y <sub>4</sub>	Voltmetre	Yakıt Miktar		EGT	

Şekil 4.3.Gösterge paneli tasarımı (Nicel)

#### 4.5. Nitel Yaklaşımın Sonuçları

Deneklerle yapılan her bir Kart Sınıflandırması seansı ortalama 75 dakika sürdü. Denekler göstergeleri uygun olan konumlara yerleştirirken sesli düşündüler ve onlara çeşitli sorular soruldu. Bu esnada notlar alındı ve alınan notlardan anahtar cümleler oluşturuldu. Pilotların benzer şekilde düşündükleri görüldü ve denekler genel olarak paralel konulardan bahsettiler. 8 pilotun söylediği 40 anahtar cümleden, 12 farklı anahtar cümle grubu oluşturuldu. Her bir denek kart sınıflandırması seansında kendi söylediği anahtar cümleleri 1'den 5'e kadar önem sırasına göre seçti. Burada tüm deneklerden elde edilen 12 farklı anahtar cümle grubunun ortalama önem puanı hesaplanırken ilgili seanslarda denek tarafından bahsedilmeyen anahtar cümlelere 6 puanı verildi. Örneğin "Göstergedeki değişimin kontrolü" sadece Denek-5 tarafından söylenmiş ve önem puanı 3, diğer denekler için buraya 6 puanı verilmiştir. Bu sonuçlar Çizelge 4.8.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.8. Anahtar cümlelere ait tercih puanları

Anahtar Cümleler	Denekler & Tercihler								Önem Puanı	Frekans
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
Hava aracının konumunun, yerinin tespiti	6	6	6	6	5	6	6	6	5.88	1
Motor ve uçuş göstergelerinin yerleri ayrı değerlendirilmelidir.	3	3	4	6	6	6	6	5	4.88	4
Motor ve transmisyon sistemlerinin kontrol kolaylığı	6	6	6	6	6	1	6	6	5.38	1
Her bir göstergenin kullanım sıklığı	6	6	6	4	6	6	6	6	5.75	1
Göstergedeki değişimin kontrolü	6	6	6	6	3	6	6	6	5.63	1
İyi görüş alanı	1	1	1	2	6	6	3	2	2.75	6

Çizelge 4.8. (Devam) Anahtar cümlelere ait tercih puanları

Anahtar Cümleler	Denekler & Tercihler								Önem Puanı	Frekans
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
Aynı sisteme ait göstergeler birbirine yakın olmalıdır.	4	4	2	3	1	3	4	3	3.00	8
Göstergelerin gözün seviyesine uygunluğu	6	6	6	6	6	6	2	6	5.50	1
Çapraz kontrol göstergelerin konumunu etkiler.	2	2	3	1	2	2	1	1	1.75	8
Görerek (VFR) ya da görmeyerek aletli uçuş (IFR) durumunda göstergelerin konumu	5	5	5	6	4	5	6	4	5.00	6
Çalışmakta olan sistemlerin basınçlarının takibi	6	6	6	6	6	6	5	6	5.88	1
Vestibular sistem pozisyon (Pozisyon) göstergesinin tipini ve yerini etkiler	6	6	6	5	6	4	6	6	5.63	2

Çizelge 4.8. incelendiğinde 6 anahtar cümlelerin 1'den fazla denek pilot tarafından söylendiği ve seçildiği görülürken, diğer 6 anahtar cümle sadece bir pilot tarafından seçilmiştir. 2 anahtar cümle “Çapraz kontrol göstergelerin konumunu etkiler.” ve “Aynı sisteme ait göstergeler birbirine yakın olmalıdır.” 8 pilotun tamamı tarafından söylenmiştir. Anahtar cümlelerin birbirlerine göre önemini tespit etmek için, önem puanlarının ortalamaları hesaplandı. Tercih sıraları, her bir anahtar cümlelerin frekansı ve ortalama önem puanları Çizelge 4.8.'de sunulmuştur.

Pilotların uçuş esnasındaki zihinsel modellerinin anlaşılabilmesi amacıyla anahtar cümleler önem sırasına göre Çizelge 4.9.'da görüldüğü şekilde dizilmiştir. En önemli anahtar cümle ortalama 1.75 puan ve 8 frekansı ile

”Çapraz kontrol göstergelerin konumunu etkiler” anahtar cümlesidir. Helikopterin elde ettiği kaldırma gücü sıcaklık, havanın yoğunluğu ve yükseklikten önemli ölçüde etkilenmektedir; bu nedenle pilotlar uçuş boyunca yaptıkları çeşitli manevralarda motor sistemlerinin durumunu kontrol edebilmek için N1, EGT, Torkmetere ve Dual Takometre arasında çapraz kontroller yapmaktadırlar. Ayrıca Hız, Pozisyon, Yükseklik ve Varyometre arasında da bir çapraz kontrol yapılmalıdır ki, bu dört gösterge en önemli uçuş komuta (navigasyon) göstergeleridir. Farklı yüksekliklerde helikopterin hızı kontrol edilmelidir. Yatay ve dikey hızlar Hız ve Varyometre göstergelerinden okunur. Hava aracının pozisyonun (Pozisyon göstergesi) bilinmesi özellikle görmeyerek uçuşlarda Vertigo sendromunun önlenmesi açısından önemlidir. Pozisyon göstergesi ile hava aracının aşağı, yukarı, sağa ya da sola ne şekil de hareket ettiği anlaşılır.

Çizelge 4.9. Anahtar cümlelerin önem sırasına göre dizilişi

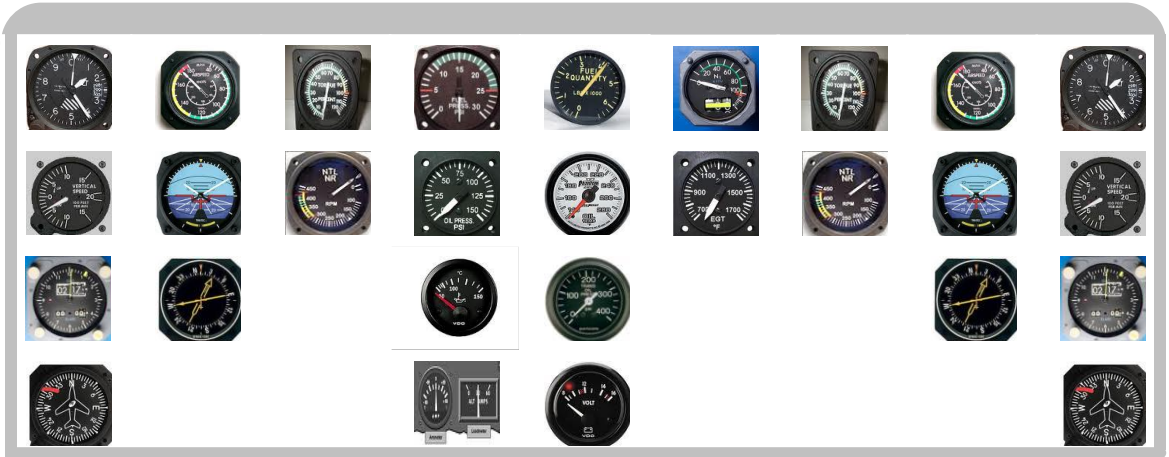
Önem Sırası	Anahtar Cümle	Önem Puanı	Frekans
1	Çapraz kontrol göstergelerin konumunu etkiler.	1.75	8
2	İyi görüş alanı	2.75	6
3	Aynı sisteme ait göstergeler birbirine yakın olmalıdır.	3	8
4	Motor ve uçuş göstergelerinin yerleri ayrı değerlendirilmelidir.	4.88	4
5	Görerek (VFR) ya da aletli uçuş (görmeyerek, IFR) durumunda göstergelerin konumu	5	6
6	Motor ve transmisyon sistemlerinin kontrol kolaylığı	5.38	1
7	Göstergelerin gözün seviyesine uygunluğu	5.5	1
8	Göstergedeki değişimin kontrolü	5.63	1
9	Vestibular sistem pozisyon (Pozisyon) göstergesinin tipini ve yerini etkiler	5.63	2
10	Her bir göstergenin kullanım sıklığı	5.75	1
11	Çalışmakta olan sistemlerin basınçlarının takibi	5.88	1
12	Hava aracının konumunun, yerinin tespiti	5.88	1

6 pilot “İyi görüş alanı” anahtar cümlesini (ikinci önem sırası) ifade etmiştir ve ortalama önem puanı 2.75 dir. “Aynı sisteme ait göstergeler birbirine yakın olmalıdır.” ise 8 pilot tarafından söylenmiştir ki, bu ergonomik tasarımın da temel kurallarından biridir. Bu anahtar kelime 3 ortalama önem puanı ile üçüncü önem sırasındadır. Örneğin KS deneylerinin sonuna gelindiğinde 6 pilot tarafından yakıt sistemine ait “Yakıt Miktar Göstergesi”nin (Y<sub>5</sub>'de) “Yakıt Basınç Göstergesi”nin (Y<sub>1</sub>'de) yanına yerleştirildiği görülmüştür.

Dördüncü öneme sahip “Motor ve uçuş göstergelerinin yerleri ayrı değerlendirilmelidir.” anahtar cümlesi 4 pilot tarafından söylenmiştir ve buna ait ortalama önem puanı 4.88'dir. Bu durum gösterge panelinde sunulan verilerin karakteristiğiyle ilgilidir. Genel bir gruplandırma yapılacak olursa helikopterde bulunan göstergeler hava aracına ait iki farklı türde bilgi sağlamaktadır. Bunlardan birincisi motor, transmisyon sistemleri, dişliler vb. durumuyla ilgilidir. Ancak hız, pozisyon, yükseklik, yön, rota gibi navigasyon bilgileri uçuş göstergelerinden sağlanabilir. Helikopter uçuşlarının ana bölümleri, motor çalıştırma, kalkış, uçuş, havada asılı durma ve iniş olarak özetlenebilir. Uçuş süresince pilotlar genelde uçuş göstergelerini kontrol ederken, motor ve transmisyon göstergelerine daha çok motor çalıştırma ve havada asılı durma (artan tork ihtiyacı nedeniyle) esnasında dikkat edilmektedir.

“Görerek (Visual Flight Rules VFR) ya da görmeyerek (Invisible Flight Rules IFR) aletli uçuş durumunda göstergelerin konumu” frekansı 6 olup, 5 önem puanı ortalamayla beşinci önem sırasındadır. Görmeyerek (IFR) ya da görerek (VFR) uçuş, pilot açısından farklı ihtiyaçları ortaya çıkarır. VFR uçuş esnasında arazi şekilleri pilota rehberlik ederken, görüş şartlarının zor olduğu bulutlu, sisli vb. bir bölgeye girilerek başlayacak olan IFR uçuşta göstergeler yardım etmektedir. Önem sırası 6'dan 12'ye kadar olan anahtar cümlelerin frekansı 2 veya daha azdır ve önem puanı ortalamaları 5'den büyüktür. Bu nedenle KS yaklaşımına göre gösterge paneli tasarlanırken bunların mutlak bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Her bir gösterge için 8 pilota ait seçimler incelenmiştir. Pilotlar göstergelerin konumları için genellikle birbirine yakın ya da aynı lokasyonları seçmişlerdir. Örneğin 6 pilot “Yakıt Basınç Göstergesi”ni  $Y_1$ 'e yerleştirirken, sadece 2 pilot aynı göstergeyi  $Y_5$ 'e yerleştirmiştir. Belirli bir lokasyonun bir gösterge tipi için seçilme sıklığı göz önünde tutularak Şekil 4.4.'de sunulan yeni panel tasarımı elde edilmiştir. Şekil 4.4.'deki tasarım incelenirse Torkmetre ve Dual Takometre dışındaki tüm motor sistemi göstergelerinin gösterge panelinin ortasında dizildiği görülmüştür.



Yükseklik	Hız	Torkmetre	Yakıt Basınç	Yakıt Miktar	N1	Torkmetre	Hız	Yükseklik
Varyomet	Pozisyon	Dual Takometre	Motor Yağ Basınc.	Motor Yağ Sıcaklık	EGT	Dual Takometre	Pozisyon	Varyomet
Saat	Radyo Pusula		XMSN Yağ Basınç	XMSN Yağ Sıcaklık			Radyo Pusula	Saat
Pusula			Yükmetre	Voltmetre				Pusula

Şekil 4.4. Gösterge paneli tasarımı (Nitel)



Helikopter uçuşları kontrollerin (kolektif, saykılık, pedallar) ve göstergelerin eşzamanlı uyumu ile gerçekleşir. Basit bir tırmanma için, pilot kolektifi çekerken rotora ait kanatçıkların “pitch” açısı (helikopterin tork ihtiyacı artar) artar ve helikopter tırmanışa geçer. Pozisyon, yükseklik, hız, varyometre gibi göstergelerin durumu izlenirken, saykılık ve kolektif ile pedallardan oluşan kontrollerin çeşitli şekillerde kullanımı ile yatay ve dikey manevralar yapılabilir. (Dole, 1994) Bahsedilen uçuş kumanda sisteminin karmaşıklığı nedeniyle her bir pilot için uçuş sistemine ait veri sağlayan göstergelerden gösterge paneli üzerinde ikişer tane bulunmaktadır. Burada Torkmetre ve Dual takometre çeşitli uçuş manevralarında kullanıldığı için aynı zamanda uçuş göstergesi olarak da kabul edilebilirler.

#### **4.6. İki Yaklaşım Sonucunun Karşılaştırılması**

Nicel ve Nitel tasarım sonuçları incelendiğinde birçok benzerlik görülmektedir. Temel benzerlik (Bknz. Şekil 4.3., Şekil 4.4.) her iki tasarımda da uçuş göstergeleri ile motor göstergeleri için ayrı alanların tahsis edilmesidir. Motor göstergelerinin önemli bir kısmı gösterge panelinin ortasında yerleştirilirken, uçuş göstergeleri sol ve sağ yanda dağılmıştır. Ayrıca Torkmetre aslında motorun performansına ait bilgileri sağlayan bir motor sistemi göstergesi olmasına rağmen her iki tasarımda da motor göstergelerinin içinde değil, uçuş göstergeleri tarafında çıkmıştır. Bunun nedeninin uçuş sırasında yapılan çeşitli manevralarda da sıklıkla (Bknz. Çizelge 4.3.  $Z_{2i} = 97.7$ ) Torkmetre’ye bakılması olduğu düşünülmektedir. Aynı nedenle Torkmetre ÇKKV yaklaşımında ikinci önemli cihaz olarak bulunmuştur. Benzer şekilde Kart Sınıflandırması yaklaşımının 6 deneği bu göstergeyi uçuş göstergeleri tarafına yerleştirmiştir. Bu gösterge genel maksat helikopterleri için bir uçuş göstergesi olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle kokpitte panel üzerinde bu göstergeden diğer uçuş göstergeleri gibi 2 tane (pilot ve yardımcı pilot için) olmasının kullanılabilirliği artıracığı düşünülmektedir.

Her iki yaklaşımın sonuçları arasında bazı farklar vardır. Bu farklardan biri Yükmetre ve EGT göstergelerinin yeridir. Yükmetre ve EGT Kart Sınıflandırması yaklaşımında  $Y_4$  ve  $Y_{10}$ 'a yerleştirilirken, aynı göstergeler ÇKKV yaklaşımı sonucunda  $Y_{15}$  ve  $Y_{20}$ 'ye atanmıştır. Şekil 4.3. incelendiğinde diğer motor sistemi göstergelerinin yanında bazı boş lokasyonların kaldığı ( $Y_3, Y_4, Y_{11}$ ) ve bunların pilotlar tarafından verilen görülebilirlik puanlarının 85.5, 85 ve 85.3 olduğu görülmüştür. Bu puanlar  $Y_{15}$  ve  $Y_{20}$ 'ye ait görülebilirlik puanlarına (89,7 ve 88,3) oldukça yakındır. Verilen puanların birbirine oldukça yakın olmaları nedeniyle ÇKKV yaklaşımı; Yükmetre ve EGT (motor sistemine ait göstergeler olmalarına rağmen) uçuş sistemi göstergelerinin bulunduğu tarafa atamıştır. Bunlar  $Y_3, Y_4$  ve  $Y_{11}$  lokasyonuna da atanabilirdi. Diğer bir fark ise motor göstergelerin dizilimiyle ilgilidir. Nicel yaklaşımda göstergeler panelin ortasında karışık bir şekilde yerleşmiştir. Kullanıcı dostu bir arayüz tasarımında, göstergenin en uygun yeri bulunurken onun kullanıcıya sağladığı bilginin etrafındaki diğer cihazların sağladıkları bilgilerle uyumu göz önünde tutulmalıdır. Pilotlarla daha senkronize bir şekilde bilgi akışının sağlanabilmesi için aynı sistemin farklı karakteristiklerini yansıtan göstergeler; basınç-sıcaklık ya da basınç-miktar vb. yan yana yerleştirilebilir. Nitel yaklaşıma katılan 8 deneğin tamamı bunu "Aynı sisteme ait göstergeler birbirine yakın olmalıdır." anahtar cümlesiyle vurgulanmıştır. Şekil 4.4. incelenirse motor göstergelerinin panelin orta bölümünde daha düzenli bir şekilde (Yakıt Basınç Göstergesinin hemen yanında Yakıt Miktar Göstergesi, Motor Yağ Basınç Göstergesinin hemen yanında Motor Yağ Sıcaklık Göstergesi) yerleştiği görülür.

Şekil 4.4.'de Torkmetre ve Dual Takometre N1 ve EGT'nin hemen yanı başındadır. Benzer şekilde Şekil 4.3.'de Torkmetre, Dual Takometre ve N1 birbirine oldukça yakınken EGT daha aşağıya  $Y_{20}$ 'ye yerleştirilmiştir. Pilotlar bahsedilen bu dört göstergeyle çapraz kontrol yapmaktadırlar. Yine aynı sebeple, Hız, Pozisyon, Yükseklik ve Varyometre göstergelerinin yerleri Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'de birbirlerine oldukça yakın çıkmışlardır. Nitel ve Nicel sonuçlar arasındaki farkların üç sebepten kaynaklandığını

düşünmekteyiz: 1. Nicel yaklaşımda verilen görülebilirlik puanlarının birbirine çok yakın olması, 2. Kullanılmakta olan hava araçlarındaki gösterge panelinin deneklerin (KS seanslarında) göstergelerin yerleşimine yönelik lokasyon tercihleri üzerindeki alışkanlık etkisi her iki tasarım arasındaki farkların bir diğer sebebidir. 3. Karar Vericinin bireysel değerlendirmelerinin LP modeli üzerinde etkileri olmuştur. Sıralama algoritması üç durumda bir çözüm bulamamış ve KV iki alternatif gösterge arasında seçim yapması istenmiştir. KV'nin verdiği bu kararlar algoritmaya yeni kısıtlar olarak eklenmiş ve KV'nin tercihleri problemin çözümünü ve elde edilen sonuçları baştan sona etkilemektedir. KV yaptığı bu seçimlerle tüm kullanıcıların ihtiyaçlarını matematiksel modele yeterli seviyede yansıtmamış olabilir.

#### **4.7. İki Yaklaşım Sonucunun Mevcut Kokpit ile Karşılaştırılması**

Bulgular mevcut bir helikopter kokpiti ile de karşılaştırılmıştır. Gösterge pozisyonları Nitel ve Nicel yaklaşım sonuçlarına benzemektedir. Motor ve uçuş göstergelerinin genel konumları birbirine benzemektedir. Tüm tasarımlarda motor ve uçuş göstergelerine iki farklı alanın ayrıldığı görülmektedir. Ancak mevcut helikopterde uçuş göstergelerin konumu pilotun sağ ya da sol koltukta oturmasına göre değişmemektedir.

ÇKKV ile gerçek helikopterin gösterge paneli karşılaştırıldığında motor göstergelerinin konumlarının farklı olduğu görülmüştür. KS yaklaşımı sonucunda ise Yakıt Basınç ve Miktar, Motor Yağ Basınç ve Sıcaklık, XMSN Yağ Basınç ve Sıcaklık, Yükmetre ve Voltmetrenin yerleri mevcut panellerle birebir aynı çıkmıştır. Gösterge panelinin merkezi bölgesinde KS yaklaşımı mevcut tasarıma daha yakın sonuçlar bulmuştur. Bu durumun pilotların alışkanlıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yakıt basınç, Motor Yağ Basınç, Voltmetre, Yükseklik göstergesi, Varyometre ve Saat olmak üzere 6 göstergenin konumları her iki yaklaşımda ve mevcut panelde aynıdır.

Ancak N1 gibi iki yaklaşımla aynı yere konumlandırılan fakat gerçek paneldeki yeri farklı olan göstergeler üzerinde durulmalıdır.

#### 4.8. Birleşik Yaklaşımın Sonuçları

En az 1500 saatlik uçuş tecrübesine sahip, KS ile ÇKKV yaklaşımlarında denek olarak kullanılmamış pilotlar seçilerek bu yaklaşımda denek olmuşlardır. Aynı göstergeye ait ÇKKV ve KS çözümlerindeki 2 farklı pozisyonu 6 kritere göre kendi memnuniyet seviyelerini belirleyecek şekilde 0-100 puanlık bir skala üzerinden puanlamışlardır. Bu süreç için kullanıcı memnuniyet anketi (EK-1) hazırlanmıştır.

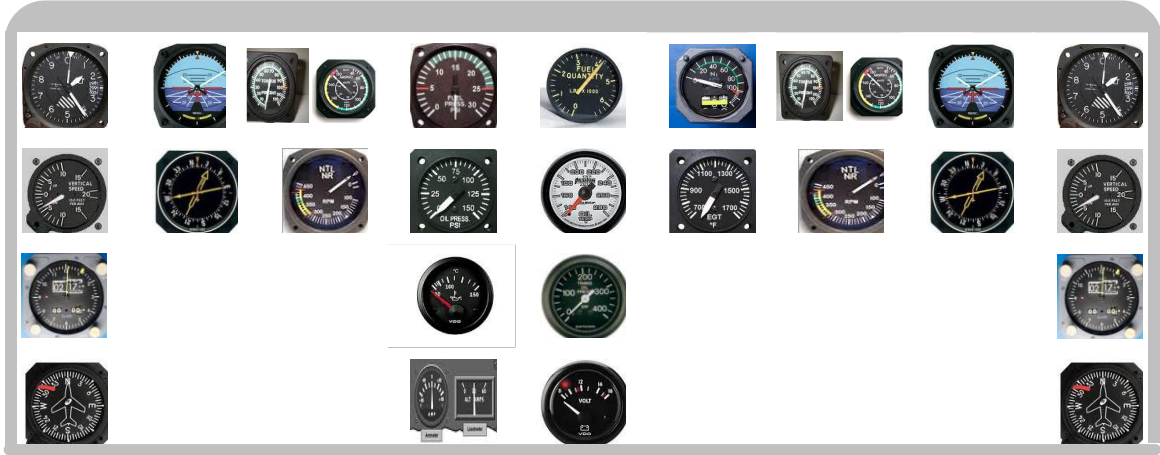
Pilot tarafından herhangi bir göstergenin (i) ÇKKV ya da KS tasarımındaki pozisyonu için kriterlere (c:1-6) göre verilen puan ( $g_c$ ) bu anketler vasıtasıyla elde edilmiştir. Gösterge (i)'nin her bir pilot (p) için kullanıcı memnuniyet ortalaması (SA) bulunurken tüm kriterlere göre (c:1-n) ortalaması  $SA_{ip} = \sum_{c=1}^n \frac{g_c}{n}$  alındı. Gösterge (i) konumunun tüm pilotlar (p: 1-m) için genel memnuniyet puanı  $SM_i = \sum_{p=1}^m \frac{SA_{ip}}{m}$  eşitliğiyle hesaplandı. Başka bir ifadeyle gösterge (i) konumunun genel memnuniyet puanı m\*n farklı kriter puanının ortalamasıdır.

En yüksek ortalamaya sahip gösterge (i) pozisyonu en iyi konum olarak kabul edilmiştir.Yapılan mülakatlar sırasında deneklere ÇKKV ve KS çözümlerindeki tasarım sonuçları (panel tasarımları) verilmiştir. Yerleştirilecek 19 göstergenin tamamı için bu değerlendirmeler yapılmıştır. Uygun konumlar kantitatif ya da Nitel tasarım sonuçlarından çekilmiş ve birleşik bir tasarım elde edilmiştir.

Çizelge 4.10. Kullanıcı memnuniyet puanları

Gösterge	Memnuniyet Puanı Ortalaması			
	ÇKKV	KS	Birleşik	Yeni Konum
Hız	7,08	6,54	7,08	Y <sub>13</sub>
Pozisyon	7,92	6,58	7,92	Y <sub>17</sub>
Yükseklik	7,67	6,67	7,67	Y <sub>21</sub>
Yakıt Basınç	6,79	7,71	7,71	Y <sub>1</sub>
Yakıt Miktar	5,33	7,83	7,83	Y <sub>5</sub>
Dual takometre	6,21	7,38	7,38	Y <sub>14</sub>
Radyo Pusula	7,63	7,04	7,63	Y <sub>18</sub>
Varyometre	8,17	6,88	8,17	Y <sub>22</sub>
Torkmetre	6,17	7,83	7,83	Y <sub>13</sub>
Manyetik Pusula	6,54	8,33	8,33	Y <sub>24</sub>
Yükmetre	4,83	8,88	8,88	Y <sub>4</sub>
Voltmetre	7,13	9,00	9,00	Y <sub>8</sub>
Saat	8,29	8,00	8,29	Y <sub>23</sub>
N1	7,38	8,25	8,25	Y <sub>9</sub>
EGT	4,75	7,75	7,75	Y <sub>10</sub>
Motor Yağ Basınç	7,04	8,13	8,13	Y <sub>2</sub>
Motor Yağ Sıcaklık	7,17	8,00	8,00	Y <sub>6</sub>
XMSN Yağ Basınç	7,33	8,25	8,25	Y <sub>3</sub>
XMSN Yağ Sıcaklık	7,25	8,21	8,21	Y <sub>7</sub>
<b>Genel Memnuniyet Ortalaması</b>	<b>6,88</b>	<b>7,75</b>	<b>8,02</b>	-

Sonuçlar Çizelge 4.10.'da sunulmuştur. ÇKKV tasarımına ait genel memnuniyet ortalaması 68.8 ve KS tasarımına ait genel memnuniyet ortalaması ise 77.5 olarak bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde navigasyon göstergelerinin ÇKKV tasarımında en yüksek memnuniyet puanını aldıkları, motor sistemine ait göstergelerin ise KS tasarımında en yüksek puanı aldıkları görülmektedir. Her bir gösterge için iki tasarımda en yüksek puanı alan konumlar kullanılarak Şekil 4.5.'de gösterilen birleşik tasarım elde edilmiştir. Birleşik tasarıma ait memnuniyet ortalaması 8.02'dir.



Yükseklik	Pozisyon	Hız / Torkmetre	Yakıt Basınç	Yakıt Miktar	N1	Hız / Torkmetre	Pozisyon	Yükseklik
Varyomet	Radyo Pusulula	Dual Takometre	Motor Yağ Basınç	Motor Yağ Sıcaklık	EGT	Dual Takometre	Radyo Pusulula	Varyomet
Saat			XMSN Yağ Basınç	XMSN Yağ Sıcaklık				Saat
Pusulula			Yükmetre	Voltmetre				Pusulula

Şekil 4.5. Gösterge paneli tasarımı (Birleşik)

Elde edilen üç farklı tasarımın birbirleri ve mevcut bir helikopter kokpiti ile olan benzerlik oranları Çizelge 4.11.'de verilmiştir. Birleşik tasarım mevcut bir helikopter kokpiti ile karşılaştırıldı ve birçok benzerliğin (uçuş göstergeleri ile motor göstergeleri için ayrı alanların tahsis edilmesi, bir kısım göstergenin genel konumları, vb.) olduğu tespit edildi. Mevcut helikopter kokpitine en fazla benzeyenin birleşik tasarım ve birleşik tasarıma en fazla benzeyenin Nitel tasarım olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.11. Benzerlik oranları (n “benzerlik” / 19)

Tasarımlar	Nitel	Nicel	Birleşik	Mevcut
T1-Nitel	1.000	0.368	0.842	0.579
T2-Nicel	0.368	1.000	0.474	0.474
T3-Birleşik	0.842	0.368	1.000	0.737
Mevcut	0.579	0.474	0.737	1.000

Birleşik tasarım (T3) Nitel (T1) ve Nicel (T2) tasarımlardan oluştuğuna göre Nitel (T1) birleşik tasarım (T3) ve Nicel (T2) birleşik tasarım (T3) benzerlik oranları toplamı  $(T1 \cap T3) + (T2 \cap T3) = 1$  olmalıdır. Ancak Nitel (T1) ve Nicel (T2) tasarımlarda da konumları aynı olan; kesişen  $(T1 \cap T2)$  elemanlar bulunmaktadır. Ayrıca birleşik tasarımda 1 pozisyonda iki gösterge (Hız, pozisyon) aynı yere  $(1/19)$  konumlanmıştır. Bu nedenle

$$(T1 \cap T3) + (T2 \cap T3) - ((T1 \cap T2) - 1/19) = 0.842 + 0.474 - 0.368 + 0.0526 = 1$$

olarak elde edilir ve benzerlik oranları doğrulanır.

Bu benzerliklerin iki temel nedenden kaynaklandığını düşünmekteyiz:

1. Daha öncede açıklandığı gibi “alışkanlık etkisi”; kullanılmakta olan hava araçlarındaki gerçek gösterge panelinin deneklerin göstergelerin yerleşimine yönelik lokasyon tercihleri üzerindeki etkisi
2. Çizelge 6.8.’de ortalama memnuniyet puanı motor göstergeleriyle ilgili olarak KS yaklaşımında daha yüksektir. Bu nedenle KS yaklaşımında bulunan bu göstergelere ait konumlar birleşik tasarıma aktarılmıştır. N1, EGT, Tork-metre, Dual Takometre ve Pusula’nın birleşik tasarımdaki (Şekil 4.5.) yerleri ise mevcut helikopter panelinden farklı bulunmuştur. Özellikle bu göstergelerin yerlerine yeni tasarımlarda dikkat edilmelidir. Gelecek tasarımlar da analog göstergelerin yanında dijital göstergelerde kullanılabilir. Analog göstergeler mevcut hava araçlarının modernizasyonlarında ya da dijital göstergelerin yedekleri olarak kullanılabilir.

## 5. ÇOK KRİTERLİ SEÇİM YÖNTEMLERİ ile EN İYİ TASARIMIN TESPİTİ

Bu bölümde kullanıcı dostu kokpit arayüzünün belirlenmesi konusunda farklı arayüzler arasından bulanık ortamda en uygun olanının seçimi için ANP ve PROMETHEE yöntemlerinin birlikte uygulanmasını önermekteyiz. Önerdiğimiz yöntemde ANP ile kriter ağırlıkları belirlenerek F-PROMETHEE ile kullanıcı dostu kokpit arayüzü sıralaması yapılacaktır.

Arayüz seçim problemi AHP'deki gibi hiyerarşik olarak yapılandırılmamaktadır, çünkü kriterler arasında bağımlılık vardır. AHP tek yönlü hiyerarşik ilişki ile temsil edilen bir yapıdadır ancak ANP karar seviyeleri ve nitelikleri arasındaki karmaşık ilişkilerin çözümüne izin vermektedir. Saaty tarafından önerilen ANP, AHP sürecinin genelleştirilmesidir (Saaty, 1996). Bu nedenle ANP yöntemini açıklamadan önce AHP yöntemi tarif edilecektir.

Ayrıca girdi verilerinde bulunan dilsel terimlerin yol açtığı yanlış değerlendirme olasılığının önüne geçmek ve bu dilsel terimlerden doğan bulanıklıkları en doğru şekilde inceleyip en doğru sonuca ulaşmak amacıyla PROMETHEE metodunun bulanık ortamda geliştirilmiş versiyonu olan Bulanık PROMETHEE (F-PROMETHEE) kullanılacaktır. F- PROMETHEE yöntemini açıklamadan önce kısaca PROMETHEE açıklanacaktır.

### 5.1. AHP Yöntemi

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) 1977 yılında Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen çok ölçütlü karar verme tekniklerinden biridir. AHP karar almada, grup veya bireyin önceliklerini de dikkate alan, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendiren matematiksel bir yöntemdir. Karar verme problemlerinde insan yargılarının kullanımı son zamanlarda dikkat çeken bir ölçüde artmıştır. AHP ile karar vericilerin farklı psikolojik ve sosyolojik durumlardaki gözlemleri de dikkate alınarak kendi karar verme mekanizmalarını tanıma olanağı



sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu yöntemle karar vericilerin daha etkin karar vermeleri amaçlanmıştır (Saaty, 1980).

Yöntem, oldukça büyük bir ilgi görmüş ve gerçek hayatta birçok karar verme probleminin çözümünde kullanılmıştır. Özellikle değişik bireylerin öznel kararları karar sürecinde önemli olduğu durumlarda hem somut hem de soyut kriterleri birleştirecek şekilde tasarlanmış olması, AHP'nin diğer çok kriterli karar verme yöntemleri üzerindeki avantajıdır .

Son yıllarda yapılan çalışmalarda AHP'nin diğer yöntemlerle bütünleştirilerek uygulanmasında da artış görülmüş ve karar verme problemlerinde; AHP ve Hedef Programlama (Schniederjans ve Wilson, 1991, Suresh ve Kaparathi, 1992, Ehie ve Benjamin,1993, Myint ve Tabucanon, 1994, Ramanathan ve Ganesh, 1995, Schniederjans ve Garvin, 1997, Badri, 1999, Badri, 2001, Dağdeviren ve Eren, 2001) AHP ve Veri Zarflama Analizi (Bowen, 1990, Shang ve Sueyoshi, 1995, Sinuany ve ark.,2000, Yang ve Kuo, 2003) ve AHP ve Bulanık Mantık (Mon ve ark., 1994, Chang, 1996, Weck ve ark., 1997, Zhu ve ark., 1999, Kuo ve ark., 1999, Dağdeviren ve ark., 2002, Leung ve Cao, 2000, Yu, 2002, Bozdağ ve ark., 2003, Kahraman ve ark., 2003, Kahraman ve ark., 2004, Büyüközkan ve ark., 2004, Kulak ve Kahraman, 2005, Tolga ve Kahraman, 2005) yöntemleri birlikte uygulanmıştır.

Bu çalışmalarda yer seçimi (Badri, 1999, Bowen, 1990, Kim ve ark., 1999 Yang ve Kuo, 2003, Kuo ve ark.,1999, Kuo ve ark.,2002, Kahraman ve ark., 2003), üretim (Dağdeviren ve Eren, 2001, Dağdeviren ve ark., 2002, Bozdağ ve ark., 2003, Büyüközkan ve ark., 2004, Kulak ve Kahraman, 2005), yatırım (Suresh ve Kaparathi, 1992, Ehie ve Benjamin, 1993, Schniederjans ve Garvin, 1997, Tolga ve Kahraman, 2005 Tolga et al.,2005), enerji (Ramanathan ve Ganesh, 1995-a,b, Xiaohua ve Zhenmin, 2002, Yedla ve Shresta, 2003, Aras ve ark., 2004), kalite kontrol (Schniederjans ve Garvin, 1997, Kahraman ve ark., 2004) ve tarımsal faaliyetler (Wolfslehner,2005)

konuları ile ilgili karar verme problemlerinde AHP ile birlikte diğer yöntemler bütünleşik olarak uygulanmıştır.

Yapılan bu çalışmalarda ele alınan problemler çok kriterli olarak analiz edilmiş ve seçme/değerlendirme sürecinin etkinliği artırılmıştır. AHP yönteminin ön plana çıkarılan önemli bir üstünlüğü de karar verme sürecine konu ile ilgili farklı kesimleri dahil edebilmesi ve çalışma sonuçlarına yapılabilecek olası itirazları önlemesidir. AHP yöntemi dört adımdan oluşur:

*Adım 1:* AHP'de karar vericinin amacı doğrultusunda faktörlerin ve faktörlere ait olan alt faktörlerin belirlenmesi ilk adımdır. AHP'de öncelikle amaç belirlenir ve bu amaç doğrultusunda amacı etkileyen faktörler saptanmaya çalışılır, bu aşamada karar sürecini etkileyen tüm faktörlerin belirlenebilmesi için anket çalışmasına veya bu konuda uzman kişilerin görüşlerine başvurulabilir.

*Adım 2:* Amaç, faktör ve alt faktörleri belirlemeyi müteakip, faktör ve alt faktörler arasındaki önem derecelerinin belirlenmesi için ikili karşılaştırma karar matrisleri oluşturulur. Bu matrislerin oluşturulmasında Saaty (1980) tarafından önerilen 1-9 önem skalası kullanılır. Yapılan çalışma sonunda verilecek karar birçok kişiyi etkileyecek yapıda ise ikili karşılaştırma karar matrisleri farklı kişilerin yargılarının birleştirilmesi ile oluşturur. Bu birleştirme işleminde birçok araştırmacı, tutarlı ikili karşılaştırma matrisleri elde edebilmek için, geometrik ortalama yönteminin kullanılmasını önermektedir (Saaty, 2000a, Tam ve Tummala, 2001).

Saaty tarafından önerilen 1-9 önem skalası en iyi sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Bunun dışındaki 1-5, 1-7, 1-15 ve 1-20 gibi önem skalaları uygun çözümü elde etmede yetersiz kalmaktadır.

Çizelge 5.1. Önem skala değerleri

Değer	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki seçenek de eşit derecede öneme sahip
3	Biraz önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı biraz üstün kılmakta
5	Fazla önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı oldukça üstün kılmakta
7	Çok fazla önemli	Bir kriter diğerine göre üstün sayılmıştır
9	Aşırı derecede önemli	Bir kriterin diğerine üstün olduğunu gösteren kanıt çok büyük güvenilirliğe sahiptir
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler

Çizelge 5.1.'de önem skalası değerleri ve anlamları açıklanmıştır. İkili karşılaştırma karar matrislerinin oluşturulması AHP'nin en önemli aşamasıdır. İkili karşılaştırma karar matrislerinden elde edilen bilgilere göre AHP'de yargılar bir matrise dönüştürülür.  $a_{ij}$ ,  $i$ . özellik ile  $j$ . özelliğin ikili karşılaştırma değeri olarak gösterilecek olursa,  $a_{ji}$  değeri  $1/a_{ij}$  eşitliğinden elde edilir. Bu özelliğe, karşılık olma özelliği denir (Saaty, 1980, Saaty, 1999).

**Adım 3:** İkili karşılaştırma karar matrisleri oluşturulduktan sonraki aşama öncelik veya ağırlık vektörlerinin hesaplanmasıdır. AHP metodolojisine göre karşılaştırma matrisinin özdeğer ve özvektörleri öncelik sırasını belirlemeye yardımcı olur. En büyük özdeğere karşılık gelen özvektör öncelikleri belirlemektedir. A matrisinin en büyük özdeğeri  $\lambda_{enb}$  olmak üzere, W öncelik vektörü;  $(A - \lambda_{enb}I)W = 0$  denklem sisteminin çözümü ile elde edilir. Ancak bu denklem sisteminin özdeğer ve özvektörlerini hesaplamak özellikle büyük boyutlu matrisler ( $n > 5$ ) için çok karmaşık ve zaman alıcıdır. Uygulamalarda,

yukarıdaki denklem sisteminin çözümü yerine yaklaşık sonuçlar veren ve hesaplaması daha kolay olan yöntemler tercih edilmektedir (Saaty, 2000b).

Öncelik vektörlerinin hesaplanmasında kullanılan yaygın bir yöntem şöyledir: Normalleştirilmiş matris, her bir sütun değerinin ayrı ayrı ilgili sütun toplamına bölünmesi ile elde edilir. Normalleştirilmiş matristen hareketle; her bir sıra değerlerinin ortalaması alınır, elde edilen bu değerler her bir kriter için bulunan önem ağırlıklarıdır. Bu ağırlıklar ile öncelik vektörü oluşturulur.

*Adım 4:* Karar vericinin faktörler arasında karşılaştırma yaparken tutarlı davranıp davranmadığını ölçmek için, her bir karşılaştırma matrisi için Tutarlılık Oranı'nın (TO) hesaplanması gerekir. Bu hesaplamada  $n$  alternatif sayısına bağlı olarak rasgele indeks (Ri) sayıları kullanılır. Hesaplamalar sonucunda bulunan değer 0,10'un altında çıkmışsa oluşturulan karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu sonucuna varılır. Aksi durumda karşılaştırma matrisi tutarsızdır ve tekrar düzenlenmesi gerekir (Saaty, 1980).

## 5.2. ANP Yöntemi

Bir çok karar verme problemi AHP'deki gibi hiyerarsik olarak yapılandırılmaz, çünkü bu problemler üst seviye elemanların daha alt seviye elemanlar üzerindeki etkileşimini ve bağımlılığını içerir (Saaty, 1996; Saaty ve Takizawa, 1986). Fonksiyonel bağımlılığın dahil olduğu bir problem yapısı kümeler arasında geri bilgi akışına izin verir. Bu iletişim ağ sistemidir.

Saaty, alternatif ya da kriterler arasında bağımlılık yok iken AHP'nin, alternatif ya da kriterler arasında bağımlılık varken ANP'nin kullanılmasını tavsiye etmektedir (Yüksel ve Dağdeviren,2007). Saaty tarafından önerilen ANP, AHP sürecinin genelleştirilmesidir (Saaty, 1996). AHP tek yönlü hiyerarsik ilişki ile temsil edilen bir yapıda olmasına rağmen, ANP karar seviyeleri ve nitelikleri arasındaki karmaşık ilişkilerin çözümüne izin verir. Seviyeler arasındaki ilişkilerin, yüksek ya da düşük, baskın ya da daha az baskın,

dolaylı ya da dolaysız vb. yapılarda AHP'deki hiyerarşik yapıyla kolaylıkla temsil edilemeyecek şekilde olduğu durumlarda, geri besleme yaklaşımı olan ANP bu hiyerarşinin yerini alır (Meade and Sarkis,1998).

Örneğin kriterin önemi hiyerarşik yapıda olduğu gibi alternatiflerin önemini belirlerken, ANP'de alternatiflerin önemi de kriterin önemleri üzerinde bir etkiye sahip olabilir (Saaty, 1996). Sonuç olarak, AHP'deki hiyerarsik yapı; üstten tabana doğrusal form ile karmaşık bir sistem için uygun değildir. Literatürde çeşitli karar verme süreçlerinin çözümü için ANP kullanan bir çok çalışma mevcuttur ( Lee ve ark., 2009; Boran ve Göztepe, 2010, Vinodh ve ark., 2011). ANP aşağıda gösterildiği gibi üç adımdan oluşur (Shyur,2006):

*Adım 1:* Bu aşamada kriterler arasındaki bağımlılığı göz ardı ederek, karar vericilerden kriterleri ikili olarak değerlendirmeleri istenir. “*Hangi kriter daha fazla vurgulanmalı, ne kadar fazla ?*” gibi sorular karar vericiler tarafından yanıtlanır. Yanıtlar sayısal olarak sunulur ve Saaty'nin 1-9 esaslı ölçeğine göre derecelendirilir (Çizelge 7.1.). Her kriter çifti sadece bir kere değerlendirilir. Karşılık değer otomatik olarak ters karşılaştırma için atanır. İkili karşılaştırmalar tamamlandıktan sonra ağırlık vektörü  $w_1$  aşağıdaki denklemin çözümünden bulunur.

$$Aw_1 = \lambda_{\max} w_1$$

Burada A (ikili karşılaştırma) matrisinin en büyük özdeğeri;  $\lambda_{\max}$  vektörü hesaplanır. Normalleştirilmiş ağırlık vektörü  $w_2$ 'yi bulabilmek için, elde edilen vektördeki her değer bulunduğu sütundaki değerler toplamına bölünerek normalleştirilir.

*Adım 2:* AHP'den farkı değerlendirme kriterleri arasında mevcut olan bağımlılık etkilerinin çözümlenmesidir. KV bütün kriterlerin birbirleri üzerindeki etkilerini ayrıca ikili karşılaştırmalar kullanarak incelerler. “*Hangi kriter, kriter 1'e daha fazla etki edecek : kriter 2 mi yoksa kriter 3 mü, ne*

*kadar fazla?"* gibi sorular cevaplandırılır. Çeşitli ikili karşılaştırma matrisleri her kriter için oluşturulur. Kriterlerin birbirleriyle olan ilişkilerinin göreceli etkilerini tanımlayabilmek için ikili karşılaştırma matrisleri gereklidir. Bu matrisler için normalleştirilmiş özdeğer vektörleri hesaplanır ve bu vektörler B matrisinin sütunlarını oluşturur.

*Adım 3:* Önceki iki adımda elde edilen sonuçlar birleştirilerek kriterlerin bağımlı ağırlıkları aşağıda gösterildiği şekilde elde edilir:

$$w_c = Bw_2^T$$

### 5.3. PROMETHEE Yöntemi

Bu çalışmada girdi verilerinin doğru yorumlandığından emin olabilmek için PROMETHEE metodunun bulanık ortamda geliştirilmiş versiyonu olan Bulanık PROMETHEE (F-PROMETHEE) kullanılmıştır. F-PROMETHEE yöntemi, PROMETHEE yöntemi ve bulanık sayıların bir kombinasyonudur (Bilsel ve ark., 2006). Bu nedenle F- PROMETHEE yöntemini açıklamadan önce PROMETHEE tarif edilecektir.

PROMETHEE Brans ve ark. (1985, 1986) tarafından geliştirilen bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) metodudur. Çelişen pek çok sayıda kritere göre sonlu sayıda alternatifin sıralanacağı problemlere çok uygundur (Goumas ve Lygerou, 2000). Bu metodoloji alanında hem en verimli hem de en kolay metodolojilerden biridir. Sıralama problemleri için uygun olan PROMETHEE metodu, kullanıcı için esneklik ve kolaylığı bir araya getirmektedir. (Geldermann ve ark., 2000). Aynı zamanda diğer metodlara kıyasla çok kriterli analizler için konsept ve uygulama olarak daha basit bir sıralama metodudur (Goumas ve Lygerou, 2000).

Metod alternatiflerin hem kısmi hem de tam sıralamasını sunmakla birlikte karar probleminin geometrik temsilini iki boyutlu bir düzlemde (GAIA düzlemi) sonuçlarıyla birlikte gösterebilmekte ve ayrıca çok çeşitli duyarlılık analizlerinin sayısal ya da grafiksel olarak yapılmasına imkan tanımaktadır (Le Teno ve Mareschal, 1998). Ancak, karar verme süreçleri yapılacak karşılaştırmalar ve değerlendirmeler günlük hayattan alınan verilere dayandığında çoğu zaman sayısal olarak ifade edilmesi güç olan ve sayısallaştırma sırasında genellikle veri kaybına yol açan dilsel ifadeler barındırmaktadır.

PROMETHEE metodu sahip olduğu avantajlarına rağmen, girdi değerlerinin genellikle karar vericilerin düşünce ve tecrübelerine dayanması ve Nitel olarak belirlenmesi açısından bir dezavantaja sahiptir. Bu nedenle, bu çalışmada Bulanık PROMETHEE (F-PROMETHEE) kullanılmıştır.

PROMETHEE metodu finanstan taşımaya, enerji kaynağı seçiminden bilgi teknolojileri stratejileri seçimine birçok uygulama alanı bulmuş olup (Bilsel ve ark., 2006), F- PROMETHEE ise henüz çok yeni ve sınırlı sayıda uygulama örneğine sahip bir yöntemdir. Çevre yönetimi konu başlığı altında, Briggs ve ark. (1990) atık yönetimi konusunda PROMETHEE I ve II'yi 27 kriterin tam sıralamasını elde etmek amacı ile çok çelişen kriter temelinde uygulamışlardır.

Chou ve ark. (2007) nın yaptıkları çalışmada ise ekolojik, güvenlik ve maliyet indislerini kullanan süreçler geliştirmek amacıyla en uygun ekoteknoloji metodunun seçimi için PROMETHEE yöntemi kullanılarak sıralama ve değerlendirme yapılmıştır. Queiruga ve ark. (2008) İspanyol belediyelerini atık geridönüşüm fabrikalarının kurulması için uygunluklarına göre sıralamak amacıyla PROMETHEE'yi kullanmıştır.

D'Avignon ve Mareschal (1989) Kanada'nın Quebec bölgesinde, vatandaşlara sunulan hastane hizmetlerinin uzmanlaşma derecesini

belirlemede PROMETHEE I ve II'yi kullanmıştır. Du Bois ve ark. (1989), olası bir tanı listesi seçimi için PROMETHEE I kullanan bilgisayarlı bir uzman sistem geliştirmiştir.

Olson (2001) PROMETHEE I ve II ile çarpma, güç, hız, yer doldurma ve atma olmak üzere beş kriter temelinde sekiz beysbol takımının yeteneklerinin sıralamasını ve değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Montaj planlama konusunda Rekiek ve ark. (2002) PROMETHEE II'yi çok amaçlı gruplama genetik algoritması ve dal sınır metodu ile birlikte uygulayarak ve her montaj istasyonu için en iyi donanım kombinasyonunu seçmiştir.

Yatırım analizi ve portfolyo yönetimi kapsamında Baourakis ve ark. (2002) PROMETHEE II'yi tarımsal yiyecek üretimi ve pazarlaması alanında çalışan Yunan şirketlerinin sürdürülebilirliğini değerlendirmek için finansal karakteristikler temelinde kullanmıştır.

Bir diğer çalışmada Albadvi ve ark. (2007) PROMETHEE I ve II'yi Tahran Borsası'nda yatırım yapmak için bir karar verme aracı olarak uygulamıştır. Yenilenebilir enerji projelerini değerlendirmek amacıyla, Hyde ve ark. (2003) altı yenilenebilir enerji senaryosunu değerlendirmek için PROMETHEE yöntemini kullanmışlardır. Albadvi (2004) PROMETHEE II'yi ulusal bilişim teknolojisi stratejileri oluşturmak amacıyla kullanmıştır. Johnson (2005) iskân seçim belgesi programı altında PROMETHEE'yi önceliklerine en iyi uyan komşuluk ve iskân birimlerini seçmek amacıyla kullanmıştır.

Kimya konusundaki çalışmalara örnek olarak Zhang ve ark. (2006) PROMETHEE ve Kemometrik (kimyasal ölçümler) metotları kombine ederek, ürünlerin performans kalitesinin çok yönlü bir göstergesi olarak 67 yağ nesnesini sıralamak amacıyla kullanmışlardır.

Lojistik ve taşıma konu başlığı altındaki çalışmalarda ise, Iniestra ve Gutiérrez (2009) çalışmalarında kuadratik amaç fonksiyonlu çok amaçlı



optimizasyon problemi olan taşıma altyapısı proje seçim problemini çok amaçlı 0-1 sırt çantası problemi varyasyonları ve bazı ek kısıtlar kullanarak modellemiş, proje portföyünün sonuç seçimi PROMETHEE yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mohamadabadi ve ark. (2009) çalışmalarında PROMETHEE metodunu kullanarak çeşitli kara yolu taşımacılığı araçlarını sıralamak için bir çok kriterli değerlendirme modeli geliştirmişlerdir.

PROMETHEE yöntemi 7 adımdan oluşmaktadır:

*Adım 1:*  $w=(w_1, w_2, \dots, w_k)$  ağırlıkları ile  $k$  kriter  $c=(f_1, f_2, \dots, f_k)$  tarafından değerlendirilen alternatiflere  $A=(a, b, c, \dots)$  ilişkin veri matrisi, Çizelge 5.2.'de verilen şekilde oluşturulur.

Çizelge 5.2. Veri matrisi

<b>Kriterler</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>...</b>	<b>w</b>
$f_1$	$f_1(a)$	$f_1(b)$	$f_1(c)$	...	$w_1$
$f_2$	$f_2(a)$	$f_2(b)$	$f_2(c)$	...	$w_2$
$f_3$	$f_3(a)$	$f_3(b)$	$f_3(c)$	...	$w_3$
$f_4$	$f_4(a)$	$f_4(b)$	$f_4(c)$	...	$w_4$
...	...	...	...	...	...
$f_k$	$f_k(a)$	$f_k(b)$	$f_k(c)$	...	$w_k$

Bu matris oluşturulurken PROMETHEE'nin uygulanması için iki tip bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır: (1) kriterlerin ağırlıkları ya da göreceli önem bilgisi (2) karar vericinin her bir ayrı kriter için alternatifleri karşılaştırırken kullandığı tercih fonksiyonu bilgisi.

$w=(w_1, w_2, \dots, w_k)$  ağırlıkları ile  $k$  kriter  $c=(f_1, f_2, \dots, f_k)$  tarafından değerlendirilen  $A=(a, b, c, \dots)$  alternatiflerine ilişkin veri matrisinin oluşturulması PROMETHEE

metodunun başlangıç noktasıdır. Metodu çok kriterli problemlere şu şekilde uygulanır Eş.1 (Brans ve Vincke, 1985):

$$\max \{f_1(a), f_2(a), \dots, f_n(a) \mid a \in A\} \quad (1)$$

Burada  $A$  mümkün alternatiflerin sonlu bir kümesidir ve  $f_j$  en büyüklenecek  $n$  tane kriteri göstermektedir.

*Adım 2:* Kriterler için tercih fonksiyonları tanımlanır. Her alternatif için  $f_j(a)$  o alternatifin değerlendirmesidir.  $a, b \in A$  olan iki alternatifi karşılaştırdığımızda bu karşılaştırmanın sonucunu tercihler bakımından açıklayabiliriz. Bu yüzden bir  $P$  tercih fonksiyonu seçilir. Bu tercih fonksiyonu, 0–1 aralığında değişen bir tercih derecesi içinde, belirli bir kriter temelinde değerlendirilen iki alternatif ( $a$  ve  $b$ ) arasındaki farkı açıklamaktadır Eş.2-3.

$$P_j(a,b) = G_j[f_j(a) - f_j(b)] \quad (2)$$

$$0 \leq P_j(a,b) \leq 1, \quad (3)$$

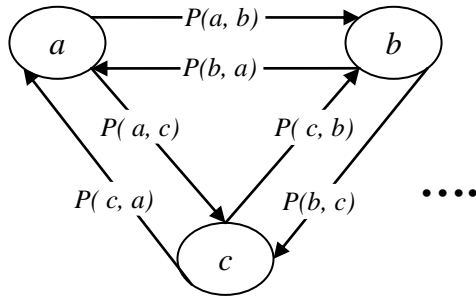
$G_j$ ,  $f_j(a)$  ve  $f_j(b)$  arasında gözlemlenen ( $d$ ) sapmasının azalmayan bir fonksiyonu ve  $f_j(i)$  kritere bağlı tercih fonksiyonu olsun.

Yöntemin uygulanmasında kullanılacak 6 farklı tercih fonksiyonu bulunmaktadır ve bunlar sırasıyla birinci tip (olağan), ikinci tip (U-tipi), üçüncü tip (V-tipi), dördüncü tip (seviyeli), beşinci tip (lineer) ve altıncı tip (Gaussian) tercih fonksiyonlarıdır (Brans ve Vincke, 1985).

Çizelge 5.3. Tercih fonksiyonları

Tip	Parametre	Fonksiyon	Grafik, $p(x)$
I. Tip (olağan)	-	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}$	
II. Tip (U-tipi)	$L$	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq l \\ 1, & x > l \end{cases}$	
III. Tip (V-tipi)	$m$	$p(x) = \begin{cases} x/m, & x \leq m \\ 1, & x \geq m \end{cases}$	
IV. Tip (Seviyeli)	$q, p$	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1/2, & q < x \leq q+p \\ 1, & x > q+p \end{cases}$	
V. Tip (Lineer)	$s, r$	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq s \\ (x-s)/r, & s \leq x \leq s+r \\ 1, & x \geq s+r \end{cases}$	
VI. Tip (Gaussian)	$\sigma$	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-x^2/2\sigma^2}, & x \geq 0 \end{cases}$	

*Adım 3:* Tercih fonksiyonları temel alınarak alternatif çiftleri için ortak tercih fonksiyonları belirlenir. Alternatifler için belirlenen ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi Şekil 5.1.'de verilmiş olup tercih fonksiyonuna göre değeri fazla olan az olana tercih edilir ve belirlenen tercih fonksiyonları temelinde ortak tercih fonksiyonu Eş.4 ile hesaplanır.



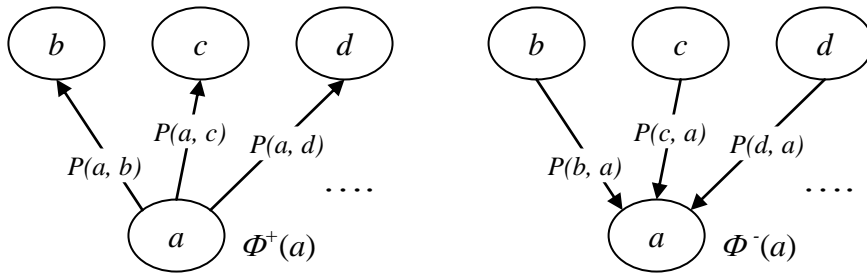
Şekil 5.1. Ortak tercih fonksiyonlarının şematik gösterimi

$$P(a,b) = \begin{cases} 0 & , f(a) \leq f(b) \\ p[f(a) - f(b)] & , f(a) > f(b) \end{cases} \quad (4)$$

*Adım 4:* Ortak tercih fonksiyonlarından hareketle her alternatif çifti için tercih indeksleri belirlenir.  $w_i$  ( $i=1,2,\dots,k$ ) ağırlıklarına sahip olan  $k$  kriter tarafından değerlendirilen  $a$  ve  $b$  alternatiflerinin tercih indeksi hesaplanır Eş.5.

$$\pi(a,b) = \frac{\sum_{i=1}^k w_i \times P_i(a,b)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (5)$$

*Adım 5:* Alternatifler için pozitif ( $\Phi^+$ ) ve negatif ( $\Phi^-$ ) üstünlükler belirlenir.  $a$  alternatifi için pozitif ve negatif üstünlük şematik olarak Şekil 5.2.'de gösterilmiştir. Pozitif üstünlük Eş. (6), negatif üstünlük ise Eş. (7) ile hesaplanır.



Şekil 5.2. "a" alternatifi için hesaplanan pozitif ve negatif üstünlükler

$$\phi^+(a) = \sum \pi(a, x) \quad x = (b, c, d, \dots) \quad (6)$$

$$\phi^-(a) = \sum \pi(a, x) \quad x = (b, c, d, \dots) \quad (7)$$

Pozitif üstünlük ( $\Phi^+$ ) o alternatifi diğer bütün alternatiflere nasıl baskın geldiğini gösterir, yani o alternatifi üstünlüğünün ölçüsüdür. Negatif üstünlük ( $\Phi^-$ ) ise o alternatifi diğer bütün alternatifler tarafından nasıl bastırıldığını göstermektedir (Brans ve Vincke, 1985).

Daha sonra üç ana PROMETHEE aracından biri değerlendirme problemi analiz etmek için kullanılabilir. Bunlar; PROMETHEE I kısmi sıralama, PROMETHEE II tam sıralama ve GAIA düzlemidir (Etkileşimli Yardımın Geometrik Analizi) (Dağdeviren, 2008).

**Adım 6:** PROMETHEE I ile kısmi öncelikler belirlenir. Kısmi öncelikler alternatiflerin birbirlerine göre tercih edilme durumlarının, birbirinden farksız olan alternatiflerin ve birbirleriyle karşılaştırılmayacak olan alternatiflerin belirlenmesini sağlar.  $a$  ve  $b$  gibi iki alternatif için kısmi önceliklerin belirlenmesinde aşağıda verilen durumlar (Eş.8, Eş.9 ve Eş.10) söz konusudur (Brans ve Vincke, 1985).

Aşağıdaki koşullardan herhangi biri sağlanıyorsa,  $a$  alternatifi  $b$  alternatifine tercih edilir.

$$\begin{aligned} \phi^+(a) > \phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \phi^-(a) < \phi^-(b) \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \phi^-(a) = \phi^-(b) \\ \phi^+(a) = \phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \phi^-(a) < \phi^-(b) \end{aligned} \quad (8)$$

Aşağıda verilen koşul sağlanıyor ise  $a$  alternatifi ile  $b$  alternatifi farksızdır.

$$\phi^+(a) = \phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \phi^-(a) = \phi^-(b) \quad (9)$$

Aşağıdaki koşullardan herhangi biri sağlanıyor ise,  $a$  alternatifi  $b$  alternatifi ile karşılaştırılmaz.

$$\begin{aligned} \phi^+(a) > \phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \phi^-(a) > \phi^-(b) \\ \phi^+(a) < \phi^+(b) \quad \text{ve} \quad \phi^-(a) < \phi^-(b) \end{aligned} \quad (10)$$

*Adım 7:* PROMETHEE II alternatifler için en iyiden en kötüye doğru tam bir sıralama sağlar. Sıralamanın oluşturulması için her bir alternatifin tam öncelik değerleri hesaplanır (Eş.11).

$$\Phi^{net}(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (11)$$

Burada  $a$  ve  $b$  gibi iki alternatif için hesaplanan tam öncelik değerine bağlı olarak tam sıralama belirlenir. Daha yüksek tam öncelik değerine sahip olan alternatif üstün olarak kabul edilir.  $a$  ve  $b$  gibi iki alternatif için hesaplanan tam öncelik değerine bağlı olarak aşağıda verilen kararlar alınır.

- ❖  $\Phi(a) > \Phi(b)$  ise,  $a$  alternatifi daha üstündür,
- ❖  $\Phi(a) = \Phi(b)$  ise,  $a$  ve  $b$  alternatifleri farksızdır.

GAIA düzlemi alternatiflerin göreceli pozisyonlarını çeşitli kriterlere katkısı açısından grafiksel olarak göstermektedir (Brans ve Vincke, 1985, Brans, ve Mareschall, 1994).  $a$  alternatifi ve  $j$  kriteri için, “normalleştirilmiş akımlar” matrisine uygulanan ana bileşen analizi Eş.12’de verilen şekilde tanımlanır:

$$\phi_j(a) = 1/n - 1 \sum [P_j(a,b) - P_j(b,a)] \quad (12)$$

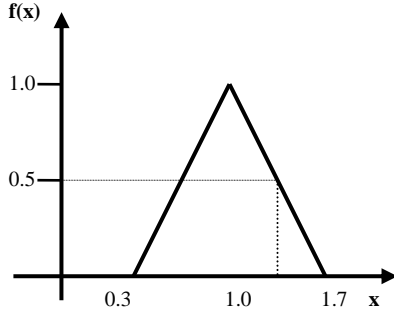
Burada  $n$  alternatif sayısıdır ve alternatiflerin ve kriterlerin aynı düzende bulunduğu iki boyutlu bir grafik oluşturmakta ve kullanılmaktadır (Dağdeviren, 2008).

#### 5.4. Bulanık PROMETHEE (F-PROMETHEE) Yöntemi

PROMETHEE metodunun çok yaygın ve başarılı bir şekilde kullanılmasının temelinde matematiksel özellikleri ve kolay kullanımı gelmektedir (Ballı ve ark., 2007) Ancak, yöntemde kullanılan girdi değerleri karar vericilerin düşünce ve tecrübelerine dayandığı ve dolayısıyla dilsel terimlerle ifade edildiği zaman oluşan belirsizlik ve bulanıklıktan ötürü yanlış değerlendirmeler yaparak yanlış sonuçlara varma olasılığı çok yüksektir. Bu belirsizliğin yol açabileceği sorunların önüne geçmek amacıyla, bulanık sayılar ve PROMETHEE yönteminin bir kombinasyonu olan Bulanık PROMETHEE (F-PROMETHEE) yöntemi geliştirilmiştir.

F-PROMETHEE uygulamasında DuBois ve Prade (1978) tarafından önerilen, bir bulanık sayıyı  $x=(m,a,b)_{LR}$  şeklinde gösteren notasyon izlenecektir. Bu notasyonda,  $x$  değişkeni bulanık kümeye aittir ve bu yüzden de üyelik fonksiyonu olan  $f(x)$  1 değerini alır.  $(m-a)$ ’dan küçük ve  $(m+b)$ ’den büyük değerler bu kümeye ait değildir.  $[m-a < x < m+b]$  aralığının içindeki değerler için üyelik derecesi 0 ve 1 arasında değişen üyelik fonksiyonu tarafından verilir.  $L$  ve  $R$  harfleri sırasıyla  $m$ ’nin soluna ve sağına doğru  $f(x)$ ’teki değişikliği gösteren fonksiyonlardır. Bu notasyona göre  $x=(1,0.7,0.7)$  bulanık

sayısı doğrusal  $L$  ve  $R$  varsayımı altında Şekil 5.3'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.3.  $x=(1,0.7,0.7)$  Bulanık sayısının doğrusal  $L$  ve  $R$  için gösterimi

Bu çalışmada F-PROMETHEE metodu Goumas ve Lygerou (2000), Bilsel ve ark.(2006), Yılmaz ve Dağdeviren (2010) ve Yılmaz (2010) tarafından önerilen şekilde uygulanmıştır. Dolayısıyla Bölüm 5.3.'de anlatılan tüm işlemler ve hesaplamalar bulanık sayılarla gerçekleştirilecek olup, tercih eşik değerleri ( $q$  ve  $p$ ) ve ağırlıklar kesin sayı olarak kalacaktır.  $q$  ve  $p$ , bir bulanık sayının esnetilmiş biçiminden dolayı yapılacak değerlendirmelerin belirsiz olmasının engellenmesi için bulanık sayı değildir. Aynı şekilde ağırlıklar, PROMETHEE metodunda ağırlıklar toplamının 1 olması nedeniyle bulanık sayı olamaz (Bilsel ve ark., 2006).

Hava aracı arayüz tasarımlarının seçiminde F-PROMETHEE çalışmalarında en sık kullanılan ve problemimizin karakteristiğine en uygun olan doğrusal tercih fonksiyonu (5. tip) kullanılmıştır. (Eş.13). *Doğrusal tercih fonksiyonu, hava aracı arayüzlerinin seçimi problemi için en uygun türdeki tercih fonksiyonu tipidir, çünkü karar vericiler kriterler temelinde en yüksek değere sahip olan alternatifi seçmek istemektedirler. Bunun yanında ortalama değer altında kalan alternatifleri değerlendirme sürecine dahil etmemeyi istemektedirler.*



$$\begin{aligned}
P(\alpha, \beta) &= 0, & d \leq q & \text{ için} \\
P(\alpha, \beta) &= \frac{d-q}{p-q}, & q \leq d \leq p & \text{ için} \\
P(\alpha, \beta) &= 1, & d \geq p & \text{ için}
\end{aligned} \tag{13}$$

F-PROMETHEE kullanıldığında Eş.13'te bulunan  $\alpha$  ve  $\beta$  eylemlerinin performansları arasındaki fark  $d$ ,  $(n,c,d)$  bulanık sayısı olarak ifade edilecek ve Eş.13 şu şekilde değişecektir:

$$\begin{aligned}
P(\alpha, \beta) &= 0, & n-c \leq q & \text{ için,} \\
P(\alpha, \beta) &= \frac{d-q}{p-q}, & q \leq n-c \text{ ve } n+d \leq p & \text{ için,} \\
P(\alpha, \beta) &= 1, & n+d \geq p & \text{ için,}
\end{aligned} \tag{14}$$

Bu yeni fonksiyondaki işlemleri gerçekleştirmek için bulanık sayı işlemlerinde temel bilgiye sahip olmak gerekmektedir. Bulanık sayılarla basit işlemler için gerekli formüller Çizelge 5.4.'de verilmiştir (Goumas ve Lygerou, 2000)

Çizelge 5.4. Temel bulanık işlemler

Toplama	$(m, a, b)_{LR} \oplus (n, c, d)_{LR} = (m+n, a+c, b+d)_{LR}$
Negatif	$-(m, a, b)_{LR} = (-m, a, b)_{RL}$
Çıkarma	$(m, a, b)_{LR} - (n, c, d)_{LR} = (m-n, a+c, b+d)_{LR}$
Skalerle Çarpım	$(m, a, b)_{LR} \times (n, 0, 0) = (mn, an, bn)$
Bulanıkla Çarpım	
$m > 0, n > 0$ için	$(m, a, b)_{LR} \otimes (n, c, d)_{LR} \approx (mn, cm+an, dm+bn)_{LR}$
$m < 0, n > 0$ için	$(m, a, b)_{LR} \otimes (n, c, d)_{LR} \approx (mn, an-dm, bn-cm)_{RL}$
$m < 0, n < 0$ için	$(m, a, b)_{LR} \otimes (n, c, d)_{LR} \approx (mn, -bn-dm, -an-cm)_{RL}$
Ters ( $m > 0$ ) için	$(m, a, b)_{LR}^{-1} \approx (m^{-1}, bm^{-2}, am^{-2})_{RL}$

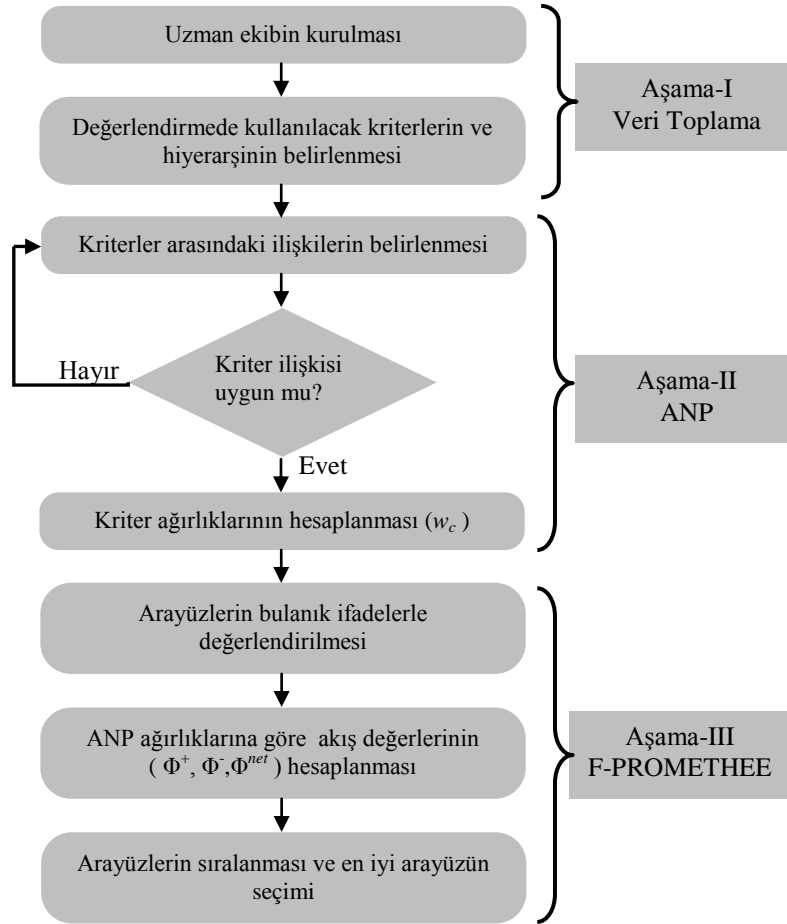
PROMETHEE'nin uygulamasında tek ve çok kriter için öncelik indisleri  $[0,1]$  aralığında bulunmalıdır. Bu yüzden  $c(\alpha, \beta)=(m,c,d)$  bulanık sayısının üyelik fonksiyonu  $m-c \geq 0$  ve  $m+d \leq 1$  olacak şekilde ayarlanmalıdır (Goumas ve Lygerou, 2000). Hesaplamaların sonunda bulanık sayılar elde edilecektir ve bir sonuç çıkartmak için bu sayılar sıralanmalıdır. Bu da bulanık sayıların karşılaştırılması gerektiği anlamına gelmektedir. Bulanık sayıların karşılaştırılabilmesi için Goumas ve Lygerou (2000) tarafından Yager indeksinin kullanılması önerilmiştir. Bu metoda göre, verilen bir bulanık sayının durulaştırılmış hali  $F(m,a,b)=(3m-a+b) / 3$  denklemi ile ifade edilebilmektedir. En yüksek Yager indeksi değerine sahip olan bulanık sayı, daha düşük değere sahip olanlara göre daha büyük sayılmaktadır.

İzleyen adımlar PROMETHEE yöntemi ile aynıdır.  $\Phi^+$ ,  $\Phi^-$  ve  $\Phi^{net}$  Bölüm 5.3.'de verilen şekilde hesaplanır ve hesaplamalar yapıldıktan sonra tam ve kısmi sıralamalar Yager indeksi kullanılarak durulaştırılmış bulanık sonuçlara göre elde edilir.

F-PROMETHEE yöntemi, prensipte PROMETHEE ile aynı mantıkla yürütülürken, farklı araştırmacılarca bazı farklı ek uygulamalar kullanılarak da çalıştırılmıştır. PROMETHEE metodunun bulanık küme teorisi ile birleştirilmesi ilk olarak Lé Teno ve Mareschal (1998) tarafından önerilmiştir. Goumas ve Lygerou (2000) bir çalışmada alçak ısıda jeotermal alana ait enerji soğurma planları alternatiflerinin sıralanması ve değerlendirilmesi için F-PROMETHEE kullanmıştır. Geldermann ve ark. (2000) çalışmalarında F-PROMETHEE yöntemini kullanarak demir ve çelik endüstrisinde "Ömür Döngü Değerlendirmesi" gerçekleştirmiştir. Bilsel ve ark. (2006) hastane web sitelerinin performanslarını ölçen bir kalite değerlendirme modeli geliştirmişlerdir. Değerlendirmenin bazı aşamalarındaki belirsizlikleri ifade etmek için kullanılan bulanık verileri F-PROMETHEE yöntemi ile analiz etmişlerdir. Liu ve Guan (2009) dilsel verileri bulanık sayılara dönüştürerek PROMETHEE II sürecini bulanıklaştırmışlardır. Yılmaz ve Dagdeviren (2010) kaynak makinesi seçim problemini bulanık ortamda ele almıştır.

### 5.5. ANP ve F-PROMETHEE Uygulaması

Önerilen ANP ve Bulanık PROMETHEE yöntemi 3 aşamadan oluşmaktadır: (1) Kriterlerin tanımlanması, (2) ANP hesaplamaları, (3) Alternatiflerin Bulanık PROMETHEE ile değerlendirilerek sıralanması ve en iyi arayüzün seçilmesi. ANP ve F-PROMETHEE yöntemlerinin gösterge paneli seçimi probleminde kullanılmasına yönelik akış şeması Şekil 5.4.'de adımlar ve aşamalar halinde gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Arayüz seçim problemi için sunulan yaklaşımın akış şeması

İlk aşamada alternatifler için kriterler belirlenir ve karar hiyerarşisi oluşturulur. Uzman ekip kriterleri ve hiyerarşiyi gözden geçirir ve fikir birliğine varması halinde onaylar.

İkinci aşamada, kriterler arasındaki ilişkiler, bağlantılar ve ağ yapısı belirlenerek ANP yöntemi ile kriter ağılıkları hesaplanır. Kriterler arasındaki ağ yapısı da uzman ekip tarafından onaylanır. Kriter ve alternatif sayısının çok fazla olması halinde, problemin tümüyle çözümünde ANP yönteminin kullanılması pratik değildir. Çünkü yapılması gereken ikili karşılaştırma miktarı artmaktadır (Shyur 2006).

Üçüncü aşamada, alternatif arayüzlerin değerlendirilmesinde dilsel ifadeler kullanılmıştır. Bu nedenle Bulanık-PROMETHEE yöntemi ile arayüzler sıralanmıştır. Mevcut PROMETHEE yönteminin yanı sıra çözümde bulanık sayılar kullanılmıştır. Lineer tercih fonksiyonu ile işlemler yapılmıştır.

Önerilen yaklaşım havacılık sektöründe arayüz seçimi ve sıralanması problemine uygulandı. Burada amaç kullanıcı ihtiyaçları ve kullanılabilirlik gerekleri açısından gösterge panellerinin sıralanmasıdır.

En kullanıcı-dostu arayüz tasarımının belirlenmesi hava aracı üreticileri ve pilotlar açısından da büyük önem taşımaktadır. Ancak çeşitli kriterler açısından birbirine baskın; yani üstünlükleri olan alternatif arayüzler arasından en uygun olanının seçimi zor bir problemdir.

Uygulama aşamasında havacılık alanında çalışan çeşitli mühendislerden ve bu çalışmanın yazarlarından oluşan bir ekip kuruldu. Modelde kullanılan kriterler bu ekip tarafından belirlendi. İkili karşılaştırma matrisleri de yine aynı ekip tarafından oluşturuldu.

### 5.5.1. Kriterlerin belirlenmesi

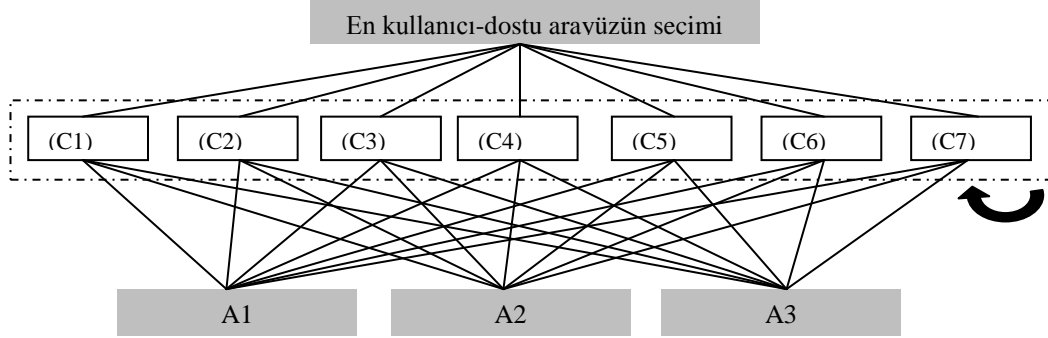
Uzman ekibin tecrübesine göre belirlenen yedi kriter Çizelge 5.5.'de sunulmuştur.

Çizelge 5.5. Arayüz değerlendirme, sıralama kriterleri ve tanımları

Ki	KRİTERLER (Ki)
C1-	<b>Çapraz kontrol:</b> Aynı anda birden fazla göstergeye bakma durumu halinde göstergenin konumunun uygunluğu
C2-	<b>Görüş alanı:</b> Göstergede sunulan uçuş (sürat, pozisyon, vb.) ya da diğer sistem (sıcaklık, basınç, tork vb.) bilgilerinin okunabilirliği ve algılanabilirliği açısından görüş alanı düşünülürse göstergenin konumunun uygunluğu
C3-	<b>Motor, transmisyon ve uçuş göstergelerinin kontrol kolaylığı:</b> Aynı sisteme ait göstergelerin birbirine yakınlığı ve yerleşim şekli; örneğin uçuş sistemi göstergeleri ve motor göstergelerinin ayrı gruplar oluşturması, ya da yakıt sistemine ait basınç ve miktar göstergelerinin, motor sistemine ait sıcaklık ve basınç göstergelerinin konumları gibi.
C4-	<b>Görerek ya da görmeyerek uçuş:</b> Tecrübeden ziyade 2 saatlik bir uçuşta (görerek ya da aletli uçuş durumunda) göstergelerin konumu, kullanılabilirliği
C5-	<b>Panelin ergonomik yapısı, tasarımı ve estetiği:</b> Göstergelerin gözün seviyesine uygunluğu, bakış açısı ve panelin ergonomik yapısı
C6-	<b>Her bir göstergenin kullanım sıklığı:</b> Tecrübeden ziyade 2 saatlik bir normal uçuş düşünüldüğünde göstergenin kullanım sıklığı ve göstergenin konumunun uygunluğu
C7-	<b>Verilerin önemi:</b> Kullanıcının, pilotun göstergedeki bilgiyi yanlış algılaması halinde uçuş emniyetine etkisi

Üç alternatif arayüz ve yedi kritere göre oluşturulan karar hiyerarşisi (A1: Nicel Tasarım, A2: Nitel Tasarım ve A3: Birleşik Tasarım) Şekil 5.5.'de verilmiştir. Bu hiyerarşide üç seviye bulunmaktadır. Karar hiyerarşisinin birinci seviyesinde karar sürecinin ana hedefi “en kullanıcı-dostu arayüzün seçimi” olarak belirlenmiştir Kriterler ikinci seviyededir ve alternatif tasarımlar üçüncü seviyededir.

Bu hiyerarşinin belirlenmesinden sonra değerlendirmede kullanılacak kriterlerin ağırlıkları ANP yöntemiyle hesaplanmıştır.



Şekil 5.5. Karar hiyerarşisi

### 5.5.2. Kriter ağırlıklarının hesaplanması

Saaty'nin önerdiği 1-9 skalasına uygun olarak uzman ekip tarafından kriterler temelinde ikili karşılaştırma matrisleri oluşturuldu. Bu matrislerde fikir birliğinin sağlanabilmesi için gerektiğinde geometrik ortalamalar alındı. Uzman ekipten kriterlerin birbirleri arasındaki ilişkileri göz ardı ederek tüm kriterleri değerlendirmeleri istendi. Tutarlılık oranları (TO) hesaplandı. Kriterler için ikili karşılaştırma matrisindeki tutarlılık oranı 0.04 olup 0.1'den küçüktür ve matris tutarlıdır. Belirlenen yedi kriter için ikili karşılaştırma matrisi ve önem ağırlıkları Çizelge 5.6.'da sunulmuştur.

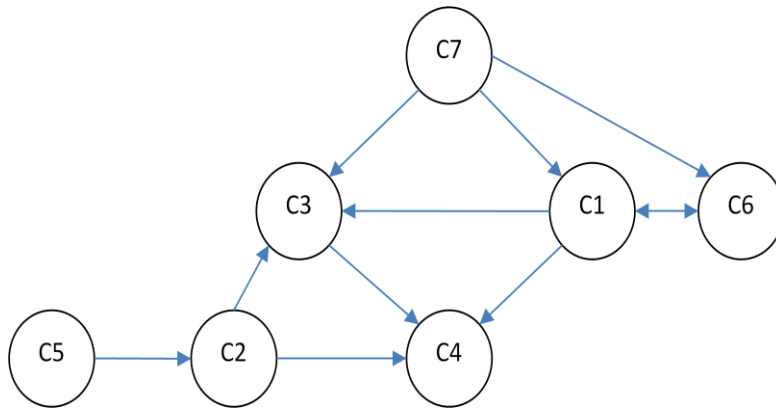
Çizelge 5.6. Kriterler için ikili karşılaştırma matrisi ve önem ağırlıkları

Kriterler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Ağırlıklar
C1-Çapraz kontrol	1	2	2	4	3	3	2	0.275
C2-Görüş alanı	½	1	2	3	4	3	2	0.222
C3-Kontrol kolaylığı	½	½	1	2	2	2	2	0.149
C4-VFR ve IFR	¼	1/3	½	1	2	2	½	0.087
C5-Panel Ergonomisi	1/3	¼	½	½	1	1/3	1/3	0.054
C6-Kullanım sıklığı	1/3	1/3	½	½	3	1	½	0.083
C7-Verilerin onemi	½	½	½	2	3	2	1	0.130

İkili karşılaştırmaların sonunda, kriter ağırlıkları 0.275, 0.222, 0.149, 0.087, 0.053, 0.054, 0.083 ve 0.130 olarak hesaplandı ve normalize edilmiş öncelik vektörü daha önceki bölümde açıklandığı şekilde oluşturuldu.

$$w_2 = \begin{matrix} C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \\ C5 \\ C6 \\ C7 \end{matrix} = \begin{matrix} 0.275 \\ 0.222 \\ 0.149 \\ 0.087 \\ 0.054 \\ 0.083 \\ 0.130 \end{matrix}$$

Kriterler arasındaki ilişkilere göre gerçek ağırlıklarının tespiti için uzman ekip tarafından beyin fırtınası ile bir çalışma yapıldı. Kriterler arasındaki ilişkiler, etkileşimler bir şebeke şeklinde Şekil 5.6.'da gösterildi. Kriterler arasındaki bağımlılıklar şu şekilde ifade edildi: C1: C6 ve C7'den; C2: C5'den; C3: C1, C2 ve C7'den; C4: C1, C2 ve C3'den; ve C6: C1 ve C7'den etkilenmektedir.



Şekil 5.6. Kriterler arasındaki ilişkiler

Bu yapı incelenerek genel bir değerlendirme yapılırsa, C7'nin diğer kriterler üzerinde baskın olduğu sonucuna varılabilir. Şebekedeki okların yönü kriterler arasındaki etkileşimin yönünü göstermektedir. Örneğin, C5 ve C2 arasındaki tek yönlü ok C5'in C2 kriterini etkilediğini göstermektedir. Şekilde C7 kriteri, C3 kriterini etkilemektedir. C3 ise C4 kriterini etkilemektedir, bu nedenle dolaylı yoldan C4 kriteri C7 kriterinden etkilenmektedir. C7 kriteri C1, C3, C4 ve C6 kriterlerini doğrudan ya da dolaylı bir şekilde etkilemektedir.

Şebekede gösterilen birbiriyle etkileşen kriter grupları için uzman ekip ikili karşılaştırma matrisleri oluşturdu. Bu amaçla C1, C2, C3, C4 ve C6 için beş adet ikili karşılaştırma matrisi oluşturuldu. Bütün kriterlerin birbirleri üzerindeki etkileri yapılan bu ikili karşılaştırmalarla incelendi. Bu matrislerin normalize edilmiş özvektörleri hesaplandı ve bu özvektörler (ağırlıklar) ile TO'lar herbir kriter için ayrı ayrı olacak şekilde Çizelge 5.7.'de sunuldu. Bu çizelgedeki sıfır (0) değeri iki kriter arasında bir ilişki olmadığını ve diğer sayısal değerler ise iki kriterin birbirlerine olan göreceli ilişkisini göstermektedir. Örneğin C1 kriterinin C4 üzerindeki göreceli etkisi 0.335'dir.

Çizelge 5.7. Kriterler için göreceli ağırlıklar

Kriter	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
<b>C1</b>	0.525	0	0.417	0.335	0	0.4	0
<b>C2</b>	0	0.667	0.193	0.136	0	0	0
<b>C3</b>	0	0	0.269	0.242	0	0	0
<b>C4</b>	0	0	0	0.287	0	0	0
<b>C5</b>	0	0.333	0	0	1	0	0
<b>C6</b>	0.334	0	0	0	0	0.4	0
<b>C7</b>	0.142	0	0.121	0	0	0.2	1
<b>TO</b>	0.04	0.00	0.02	0.06	-	0	-



Kriterlerin bağımlı ağırlıkları Çizelge 5.6. ve Çizelge 5.7.'deki veriler kullanılarak aşağıda gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$w_c = \begin{bmatrix} C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \\ C5 \\ C6 \\ C7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.525 & 0 & 0.417 & 0.335 & 0 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0.667 & 0.193 & 0.136 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.269 & 0.242 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.287 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.333 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0.334 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0 \\ 0.142 & 0 & 0.121 & 0 & 0 & 0.2 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.275 \\ 0.222 \\ 0.149 \\ 0.087 \\ 0.054 \\ 0.083 \\ 0.130 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.268 \\ 0.188 \\ 0.062 \\ 0.025 \\ 0.128 \\ 0.126 \\ 0.203 \end{bmatrix}.$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen bağımlı ağırlıklara göre C1, C7 ve C2 en önemli üç kriterdir ve elde edilen bu sıralama uzman ekip tarafından onaylanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.8.'de sunulmuştur.

Çizelge 5.8. AHP ve ANP ağırlıkları

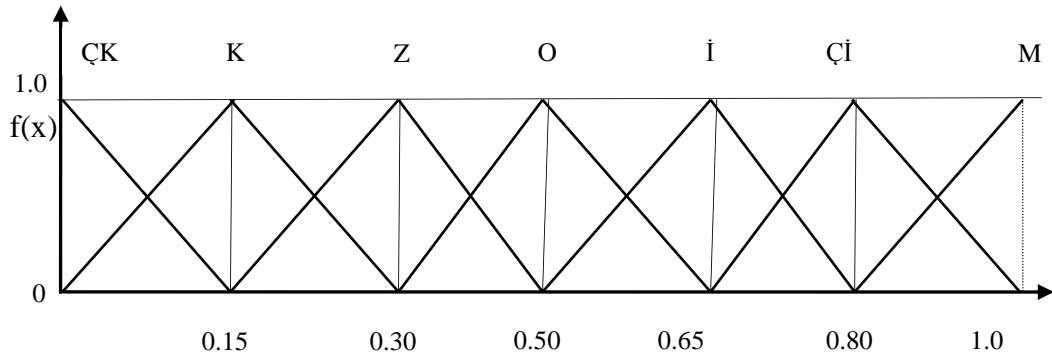
Kriter	Ağırlıklar (AHP, $w_2$ )	Bağımlı Ağırlıklar (ANP, $w_c$ )
C1	0.275	0.268
C2	0.222	0.188
C3	0.149	0.062
C4	0.087	0.025
C5	0.054	0.128
C6	0.083	0.126
C7	0.130	0.203

Kriterler arasında bağımlılıklar göz önüne alındığında hesaplanan ağırlık değerleri ile bu bağımlılıklar dikkate alınmadan hesaplanan ağırlık değerleri arasında önemli farklar görülmektedir. Örneğin C1-C7 için hesaplanan kriter ağırlıklarında 0.275'den 0.268'e, 0.222'den 0.188'e, 0.149'dan 0.062'ye, 0.087'den 0.025'e, 0.054'den 0.128'e, 0.083'den 0.126'ya ve 0.130'dan 0.203'e şeklinde değişiklikler olmuştur. C1, C2, C3 ve C4 kriterlerinin ağırlık değerlerinde düşüş yaşanırken C5, C6 ve C7 kriterlerinin değerleri artmıştır.

Şekil 5.6.'deki şebeke incelenirse C5, C6 ve C7 kriterlerinin diğer dört kriteri etkilediği ve C6 hariç bu kriterlerden etkilenmediği görülmektedir. Kriter ağırlıklarındaki değişimin nedeni bu şebekeyle ilişkilendirilebilir. AHP yönteminde C1, C2, C3 ve C7 kriterli arayüz seçimindeki en önemli kriterler olarak belirlenmişti. Ancak kriterlerin birbirleri üzerindeki etkileri de dikkate alınarak ANP yöntemi ile yapılan çözüm aslında C1, C7, C2 ve C5 kriterlerinin arayüz seçimi ve sıralamasındaki en önemli kriterler olduğunu göstermektedir. Elde edilen matrisin Tutarlılık Oranı 0.04 ( $0.04 < 0.1$ ) olup matris ve bulunan sonuçlar tutarlıdır.

### 5.5.3. Bulanık PROMETHEE

Arayüz seçim problemi bulanık bir ÇKKV problemidir, çünkü alternatiflerin dilsel değişkenlerle değerlendirilmesi nedeniyle yapılan karşılaştırmalar ve seçim süreci belirsizlik içermektedir. Uygulamada PROMETHEE yaklaşımına bulanık mantık eklenmiştir. Uzman ekip değerlendirme yaparken yedi dilsel değişkeni kullanabilir. Bulanık ifadelerin herbiri üçgensel sayılarla ifade edilmiştir. Bu dilsel değişkenler şu şekilde listelenebilir: ÇK:Çok Kötü (0, 0, 0.15)<sub>LR</sub>; K: Kötü (0.15, 0.15, 0.15)<sub>LR</sub>; Z:Zayıf (0.30, 0.15, 0.20)<sub>LR</sub>; O:Orta (0.50, 0.20, 0.15)<sub>LR</sub>; İ:İyi (0.65, 0.15, 0.15)<sub>LR</sub>; Çİ: Çok İyi (0.80, 0.15, 0.20)<sub>LR</sub>; M: Mukemmel (1, 0.20, 0)<sub>LR</sub> (Bilsel, et. al., 2006).



Şekil 5.7. Uygulamada kullanılan bulanık sayılar

Bahsedilen bulanık sayılar Şekil 5.7.'de gösterilmiştir. F-PROMETHEE'de ilk aşamada değerlendirme (veri) matrisi oluşturulur. Bulanık sayılar kullanarak uzman ekip tarafından oluşturulan değerlendirme matrisi Çizleğe 5.9.'da verilmiştir. Kriter ağırlıkları ANP yöntemi ile hesaplanmıştır.

Çizleğe 5.9. Bulanık ifadelerle yapılan değerlendirmeler

Kriterler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Maks/Min	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks	Min
Ağırlıklar	0,268	0,188	0,062	0,025	0,128	0,126	0,203
A1 Nicel	O	O	O	i	i	i	i
A2 Nitel	i	i	Çi	O	Çi	i	O
A3 Birleşik	Çi	O	i	M	O	i	Çi

Tercih fonksiyonlarının belirlenmesi aşamasında F-PROMETHEE uygulamalarında en sık kullanılan ve problemin karakteristiğine en uygun olan doğrusal tercih fonksiyonu (5. tip) seçilmiştir (Eş.13). Doğrusal tercih fonksiyonu, hava aracı arayüzlerinin seçimi problemi için en uygun türdeki tercih fonksiyonu tipidir, çünkü karar vericiler kriterler temelinde en yüksek değere sahip olan alternatifi seçmek istemektedirler. Bunun yanında ortalama değer altında kalan alternatifleri değerlendirme sürecine dahil etmemeyi istemektedirler. Tüm PROMETHEE adımları ve hesaplamalar bulanık sayılarla gerçekleştirilmiştir. Yapılacak değerlendirmelerin belirsiz olmasının engellenmesi için  $q$  ( $q=0$ ) ve  $p$  ( $p=0.6$ ) bulanık sayı değildir ve bu nedenle lineer fonksiyona ait tercih eşik değerleri ( $q$  ve  $p$ ) ve ağırlıklar kesin sayı olarak kalacaktır. Bu çalışmada F-PROMETHEE metodu Goumas ve Lygerou (2000), Bilsel ve ark.(2006), Yılmaz ve Dağdeviren (2010) ve Yılmaz (2010) tarafından önerilen şekilde uygulanmıştır. F-PROMETHEE yöntemine ait hesaplamalar Çizelge 5.10.'da verilmistir.

Çizgele 5.10. F-PROMETHEE İşlem Adımları

Ci	A1-A2	A1-A3	A2-A1	A2-A3	A3-A1	A3-A2
C1	0	0	i-o (0.15, 0.35, 030)	0	çi-o (0.30, 0.35, 0.35)	çi-i (0.15, 0.30, 0.35)
C2	0	0	i-o (0.15, 0.35, 030)	i-o (0.15, 0.35, 030)	0	0
C3	0	0	çi-o (0.30, 0.35, 0.35)	çi-i (0.15, 0.30, .35)	i-o (0.15, 0.35, 030)	0
C4	i-o (0.15, 0.35, 030)	0	0	0	M-i (0.35,0.35,0.15)	M-o (0.5, 0.4, 0.15)
C5	0	i-o (0.15, 0.35, 0.30)	çi-i (0.15, 0.30, 0.35)	çi-o (0.30, 0.35, 0.35)	0	0
C6	0	0	0	0	0	0
C7	0	i-çi (0.15, 0.30, 0.35)	o-i (0.15, 0.35, 0.30)	o-çi (0.30, 0.35, 0.35)	0	0

Ci	$ f_c(A1)-f_c(A2)  * w_c$	$ f_c(A1)-f_c(A3)  * w_c$	$ f_c(A2)-f_c(A1)  * w_c$	$ f_c(A2)-f_c(A3)  * w_c$	$ f_c(A3)-f_c(A1)  * w_c$	$ f_c(A3)-f_c(A2)  * w_c$
C1	0	0	(0, 0, 0)*0.268	0	(0, 0, 0)*0.268	(0, 0, 0)*0.268
C2	0	0	(0, 0, 0)*0.188	(0, 0, 0)*0.188	0	0
C3	0	0	(0, 0, 0)*0.062	(0, 0, 0)*0.062	(0, 0, 0)*0.062	0
C4	(0, 0, 0)*0.025	0	0	0	(0.58,0.58,0.25)*0.025	(1, 0, 0)* 0.025
C5	0	(0, 0,0)*0.128	(0, 0, 0)*0.128	(0, 0, 0)*0.128	0	0
C6	0	0	0	0	0	0
C7	0	(0, 0, 0)*0.203	(0, 0, 0)*0.203	(0, 0, 0)*0.203	0	0

Alt.	A1	A2	A3
A1	-	$\sum_{c=1}^7 P_c(A1, A2) * w_c = 0$	$\sum_{c=1}^7 P_c(A1, A3) * w_c = 0$
A2	$\sum_{c=1}^7 P_c(A2, A1) * w_c = 0$	-	$\sum_{c=1}^7 P_c(A2, A3) * w_c = 0$
A3	$\sum_{c=1}^7 P_c(A3, A1) * w_c = (0.015, 0.015, 0.006)$	$\sum_{c=1}^7 P_c(A3, A2) * w_c = (0.025, 0, 0)$	

Karşılaştırmaların bulanık sayılarla yapılması nedeniyle, Yager indeksi ile bu sayılar durulaştırılmış ve F-PROMETHEE yönteminin diğer adımları gerçekleştirilmiştir. Bulanık sayının durulaştırılmış hali  $F(m,a,b)=(3m-a+b) / 3$  denklemi ile ifade edilebilmektedir. En yüksek Yager indeksi değerine sahip olan bulanık sayı, daha düşük değere sahip olanlara göre daha büyük sayılmaktadır. İzleyen adımlar PROMETHEE yöntemi ile aynıdır.  $\Phi^+$ ,  $\Phi^-$  ve  $\Phi^{net}$  Bölüm 5.3.'de verilen şekilde hesaplanır ve hesaplamalar yapıldıktan sonra tam ve kısmi sıralamalar elde edilir. Bulanık sayıların durulaştırılmış halleri Çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Bulanık sayıların durulaştırılmış hali

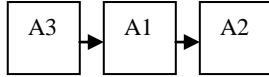
Alt.	A1	A2	A3	$\Phi^+$
A1	-	0	0	0
A2	0	-	0	0
A3	0.012	0.025	-	0.037
$\Phi^-$	0.012	0.025	0	

#### 5.5.4. Sonuç

Çeşitli yöntemlerle (Nitel, Nicel ve birleşik) arayüzleri tasarlamayı müteakip, bu arayüzler arasından en kullanıcı-dostu olanı belirlemek, ve buna göre sıralamak için ANP ve F-PROMETHEE yöntemleri entegre bir şekilde kullanılmıştır. ANP ile problemin yapısı incelenmiş ve kriter ağırlıkları belirlenmiştir. PROMETHEE yöntemi ile alternatiflerin değerlendirilmesi ve sıralaması yapılmış, değerlendirme sırasında söylenen dilsel ifadeleri PROMETHEE yöntemin dahil edebilmek için üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. PROMETHEE yöntemine ait akış değerleri Çizelge 5.12'de verilmiştir.

Çizgele 5.12. Aternatifler için akış değerleri

Alternatifler	$\Phi^+$	$\Phi^-$	$\Phi^{net}$
A1	0	0,012	-0,012
A2	0	0,025	-0.025
A3	0,037	0	0,037



F-PROMETHEE yöntemi için hesaplanan akış değerlerine ( $\Phi^+$ ,  $\Phi^-$  ve  $\Phi^{net}$ ) göre alternatifler iki şekilde sıralanabilir: kısmi ya da tam sıralama. PROMETHEE I kısmi sıralamaya göre Birleşik Tasarım (A3) diğer tasarımlardan daha iyidir; çünkü  $\Phi^+(A3) > \Phi^+(A1)$ ,  $\Phi^-(A3) < \Phi^-(A1)$  ve  $\Phi^+(A3) > \Phi^+(A2)$ ,  $\Phi^-(A3) < \Phi^-(A2)$ . Nicel Tasarım (A1) ise  $\Phi^+(A1) = \Phi^+(A2)$ ,  $\Phi^-(A1) < \Phi^-(A2)$  olması nedeniyle Nitel Tasarım (A2)'den daha iyidir.

PROMETHEE II'ye göre alternatiflerin tam sıralaması  $\Phi^{net}(A3) > \Phi^{net}(A1) > \Phi^{net}(A2)$  şeklindedir. Bu durumda Birleşik Tasarım (A3) diğer tüm tasarımların en iyisidir ve Nicel Tasarım (A1)'de Nitel Tasarım (A2)'den daha iyidir. PROMETHEE I ile yapılan karşılaştırmalar genellikle kısıtlı (alternatiflerin birbirlerine göre tercih edilme durumlarının, birbirinden farksız olan alternatiflerin ve birbirleriyle karşılaştırılmayacak olan alternatiflerin belirlenmesini sağlar) sonuçlar verirken; bu çalışmada elde edilen sonuçlar, uzman ekibin değerlendirme matris verilerine göre PROMETHEE II ile aynı çıkmıştır.

Kullanılabilirlik değerlendirme yöntemlerinin uygulanmasında çeşitli güçlükler vardır. Bu yöntemlerle birbirlerine çelişen çok çeşitli kullanılabilirlik kriterleri karşılaştırılmasına rağmen, literatürde sunulan kullanılabilirlik değerlendirme yöntemleri genellikle analitik esaslara dayanmamaktadır. Bu tekniklerin öznel kararlar içermesi sebebi ile uygulamalarda yanlış sonuçlara ulaşılma ihtimali vardır. Bu nedenle ANP ve F-PROMETHEE yaklaşımı objektif bir yöntem

olarak geliştirilmiş ve kullanılabilirlik değerlendirmesinde nasıl uygulanabileceği gösterilmiştir. Yapılan çalışmada dilsel değerlendirme değişkenleri ile kararlardaki belirsizlik ve öznellik bulanık sayılar kullanılarak giderilmiştir.

Nitel ve Nicel yaklaşımların farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. *Sadece Nitel ya da Nicel yaklaşım sonuçlarını tek başlarına doğru kabul etmek yerine, her iki yaklaşımda elde edilen sonuçların birleştirilmesiyle elde edilecek tasarımın daha kullanıcı dostu olacağını çalışmamız başında önermiştik. ANP ve F-PROMETHEE çalışma sonuçları bu teorimizi desteklemektedir. Çünkü Birleşik Arayüz Tasarımı ilk sıradadır ve sıralama (1) Birleşik, (2) Nicel, (3) Nitel arayüz tasarımı şeklindedir. Elde edilen sonuçlar teorimizi ve yöntemimizi desteklemektedir.* Kokpit içerisinde kullanıcı-arayüz boyutunda gerçekleşen süreçlerde insani faktörlerden kaynaklanan hataların önlenmesi için önerdiğimiz birleşik arayüz tasarım yöntemi bu konuda tasarım ve üretim yapan tüm işletmeler tarafından dikkate alınmalıdır. Önerdiğimiz yaklaşım son derece pratik olup havacılık endüstrisinde arayüz tasarımı konularında (dijital, analog vb.) hızlı ve etkin bir şekilde kullanılabilir.

Bunun dışında ANP ve F-PROMETHEE yaklaşımı en basit yapıya olandan en karmaşık yapıya olana kadar: gösterge, web-sayfası, kokpitler, nükleer reaktörlerdeki kontrol istasyonları vb. arayüz kullanılabilirliklerinin değerlendirilmesinde etkin bir şekilde kullanılabilir. Ayrıca önerdiğimiz yöntemin kullanılabilirlik değerlendirmelerinin yanı sıra çeşitli ekipman ve sistemlerin ergonomik değerlendirmelerinde de kullanılabilir: sadece kullanıcılarla yapılan değerlendirmelere göre daha faydalı olacağını düşünmekteyiz. ÇKKV yöntemlerindeki matematiksel uygulamalara tam olarak hakim olamayan ergonomi konusunda çalışma yapan araştırmacılar ise bu konuda hazırlanmış yazılımları (AHP için Expert Choice, ANP için Super Decisions ve PROMETHEE için Decision Lab) uygulayabilir. MS Excel bu yöntemlerin tüm bulanık aşamalarda kullanılabilir.

## 6. GÖRECELİ YERLEŞKE OPTİMİZASYONU

### 6.1.Yerleşke Optimizasyonunun Amacı

Daha önceki bölümlerde gösterge tasarımına ve tiplerine yönelik literatürde bulunan çalışmalar; “Kullanılabilir bir gösterge nedir ve böyle bir göstergenin özellikleri nasıl olmalıdır?”, havacılıkta kullanılabilirlik değerlendirilmesinde ve gösterge tasarımında uygulanabilecek teknikler açıklanmıştır. ÇKKV, KS ve Birleşik Arayüz tasarım yöntemi gibi çeşitli yöntemlerle tasarım yapılmıştır. Bu üç arayüzden en kullanıcı-dostu olan tasarımın belirlenmesi ve sıralanması için AHP, ANP, PROMETHEE, F-PROMETHEE gibi seçim yöntemleri uygulanmıştır. Sonuçta Birleşik Arayüz Tasarımı ilk sıradadır ve sıralama (1) Birleşik, (2) Nicel, (3) Nitel arayüz tasarımı şeklindedir. Elde edilen sonuçlar sadece “Nitel ya da Nicel yaklaşım sonuçlarını tek başlarına doğru kabul etmek yerine, her iki yaklaşımda elde edilen sonuçlar birleştirilmesiyle elde edilecek tasarımların daha kullanıcı dostu olacaktır” şeklindeki teorimizi desteklemektedir.

Nicel yaklaşımda her bir gösterge bir karar değişkeniyle ( $X_i$ ,  $i=1-19$ ) ifade edilmiş, KV'nin fayda fonksiyonu  $U(X)$  formunun (konkav, konveks, lineer) bulunmasını müteakip, interaktif bir ÇKKV yöntemi ile çeşitli kriterlere göre her bir gösterge fayda sınıflarına atanarak sıralanmıştır. Ayrıca görülebilirlik puanlarına göre taslak panel üzerindeki 24 konum sıralanmış ve göstergeler uygun yerlere yerleştirilmiştir. Nitel yaklaşımda (24 konum arasından) belirli bir yerin bir gösterge için pilotlar tarafından seçilme sıklığı göz önünde tutularak gösterge bu konuma atanmıştır. Birleşik tasarımda ise iki yaklaşımın sonuçları birleştirilmiştir.

Bu yöntemler (Nitel, Nicel ve Birleşik) özellikle modifikasyon ya da modernizasyon yapılacak hava araçlarında daha faydalı olacaktır. Zira bu hava araçlarında mevcut bir panel ile bu panel üzerinde göstergelerin yerleştirilebileceği alternatif konumlar paneldeki kablolar, ulaşılabilecek yerler



ve diğ er eski göst ergeler nedeniyle kabaca belirlidir, sınırlıdır. Nitel, Nicel ve birleş ik tasarım yaklaşımlarında her bir göst ergenin yerleş tirilebileceğ i konumların belirlenmesinde mevcut hava araçlarına ait göst erge panelleri incelenmiş ve bu inceleme neticesinde göst ergelerin yerleş tirilebileceğ i alternatif konumlar için panelin 24 eş it parçaya bölündüğü varsayımı yapılmış tır. Ancak göst ergelerin yerleş tirilecekleri alan 24 eş it parçaya bölünmüş bir panel yerine bütün ve tek bir alan şeklinde (continous, sürekli) verilseydi yukarıda önerdiğ imiz atama, sınıflandırma, sıralama ve seçim yaklaşımlarının uygulanması mümkün değildir. Her bir göst erge için alternatif konumların kabaca da olsa belli olmadığı; verilen alanın bütün, sürekli olduğu yerleş ke tasarım problemlerinin çözümünde ÇKKV, sınıflandırma, sıralama modelleri, seçim yöntemleri (AHP, ANP, PROMETHEE, F-PROMETHEE) ve KS yaklaşımı uygulanamaz. Bunun yerine ergonomik kısıtları da iç erecek şekilde yerleş ke tasarımına yönelik yeni bir matematiksel model kurulmasını önermekteyiz.

## **6.2. Literatürde Bulunan Çalışmalar**

Yerleş ke optimizasyonu kapsamında en uygun tesis yerlesimini bulmak Yöneylem Araşt ırmasında klasik bir problemdir. Tesis yerleş im planlama, tesis işlet me giderlerini düş üreceğ i şekilde tesislerin yerleş imlerini belirlemeyi amaçlar. Toplam işlet me giderlerinin % 15-70'i tesisin yerleş kesiyile ilgilidir ve iyileştirilmiş yerleş ke planları bu giderleri en az %10-30 civarında düş üür (Tompkins ve ark., 1996). Kimya sektöründe, hizmet sektöründe ve bunların yanında entegre elektrik devre tasarımlarında önemli uygulamalara sahiptir (Jayakumar ve Reklaitis, 1994, 1996, Penteado ve Ciric, 1996).

### **6.2.1. Karesel atama problemi**

Karesel Atama Problemi (KAP) tesis düzenleme için önerilen ilk modeldir (Koopmans ve Beckman, 1957). Çeş itli çalışmalarda farklı farklı formülasyonlara rastlansa da tesis yerleş imlerin Karesel Atama Problemi

(KAP, QAP) olarak formüle edilmesi halen popülerliğini sürdüren bir durumdur. KAP modeli her bir tesis için bütün olası konumların önceden bilindiğini ve her tesis çifti arasındaki işletme maliyetlerinin, birim akış maliyeti ve iki tesis arasındaki mesafe ile orantılı olduğunu varsayar. Tesis yerleşimi probleminde tüm bölümler eşit alanlıysa veya bölümlerin fiziksel yerleri, diğer kalan bölümlerle arasındaki yakınlık veya uzaklık ilişkilerini değiştirmeden değiştirilebiliyorsa bölümlerin işgal edeceği potansiyel yerleri belirlemek kolaydır (Tate ve Smith, 1995). Ancak bunun dışındaki durumlarda, KAP problemine yönelik birkaç algoritma önerilmiş olmasına rağmen, optimum çözümün bulunması teorik ve pratik olarak zordur (Beghin-Picavet ve Hansen, 1982, Sahni ve Gonzalez, 1976).

KAP için tesis yerleşimi tasarımı NP-Zor sınıfına girmektedir. NP, deterministik olmayan polinom-zamanda çözülebilir problem sınıfı anlamına gelmektedir. Polinomsal olarak sınırlandırılış (polinom-zamanlı) algoritma, gerektirdiği sayısal işlemlerin sayısının çözülen problemin büyüklüğünün polinom fonksiyonu olduğu; girdi boyutunda bir polinom tarafından sınırlandırılan işlem sayısından sonra sonlanan algoritma anlamına gelmektedir. NP-zor sınıfındaki problemlerin çözümü için polinom zamanlı bir algoritma yoktur. Örneğin;  $n$  boyutlu bir problem için, algoritma  $n^2$  işlem gerektiriyorsa polinomsal olarak sınırlandırılmış, algoritma  $2^n$  işlem gerektiriyorsa polinomsal olarak sınırlandırılmamıştır. NP-Zor sınıfındaki problem için dal-sınır ya da kesme-düzlemi gibi etkin yöntemlerin de başarısız olmasının nedeni, bu yöntemlerin de üstel sınırlara sahip olmasıdır.

KAP, yerleştirme ve lokasyon çalışmalarında sıklıkla uygulanan özel bir tipte atama problemidir. KAP problemini, klasik atama probleminden ayıran temel farklılık, lineer olmayan bir amaç fonksiyonu oluşturan, atama çiftleri arasındaki etkileşimlerdir. Örneğin, tesis yerleşimi problemi için, bölüm  $i$ 'nin yerleşim  $k$ 'ya atanması, bölüm  $j$ 'nin, yerleşim  $l$ 'ye atanması ile ilişkilidir. Çünkü bölümler arasındaki taşıma maliyetleri sadece bölümler arası akışlardan değil, aralarındaki uzaklıklardan da etkilenir (Duman ve Or, 2007).

Genel anlamda, KAP şu şekilde tanımlanabilir: N potansiyel yerleşim alanı ve bu alanlardan her biri bir alana yerleştirilecek olan N tesis olduğu varsayalım.  $c_{pqrs}$ , p ve r tesislerini q ve s aday bölgelerine atmanın maliyeti, p tesisi q aday bölgesine yerleştirilirse  $x_{pq}=1$  ve diğer durumda 0 olmak üzere amaç toplam taşıma maliyetini en azlayacak şekilde tesislerin aday bölgelere atmasını gerçekleştirmektir.

*Karesel Atama Problemi:*

$$\text{Min } Z = \sum_{p=1}^N \sum_{q=1}^N \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq p}}^N \sum_{\substack{s=1 \\ s \neq q}}^N c_{pqrs} x_{pq} x_{rs}$$

s.t.

$$\sum_{p=1}^N x_{pq} = 1 \quad q = 1 \dots N$$

$$\sum_{q=1}^N x_{pq} = 1 \quad p = 1 \dots N$$

$$x_{pq} \in 0 - 1 \quad q = 1 \dots N, \quad p = 1 \dots N$$

KAP literatürü incelendiğinde çok sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Çözüm için kullanılan metotlar arasında dalsınır algoritması yerel arama teknikleri kesme düzlemi algoritması dinamik programlama vb. sayılabilir. KAP için çözüm zamanlarının, yerleştirilecek tesis sayısı arttıkça üstel olarak arttığı ispatlanmıştır (Tavakkoli-Moghaddain ve Shayan, 1998). KAP'nin de NP-Zor yapıda olmasından dolayı çözümü için sezgisel yöntemler geliştirilmiştir ve bu sezgisel çözüm yöntemleri genellikle iyi sonuçlar vermektedir (Rosenblatt, 1986).

Bu konuda meta-sezgisel tekniklerin kullanılmasına son zamanlarda daha sık rastlanır olmuştur. Duman ve Or'un çalışması, söz konusu literatürde en çok kullanılan üç meta-sezgiselin; Tabu Araması, Tavlama Benzetimi ve Genetik Algoritma karşılaştırmasını sunması açısından önemli bir çalışmadır (Duman ve Or, 2007).

### 6.2.2. Sürekli tesis yerleşim modelleri

Buraya kadar incelenen tesis yerleşim modellerindeki temel varsayım, yeni tesislerin yerleştirilmesine uygun önceden belirlenmiş birkaç bölgenin olduğu ve problemin, bu bölgeler arasından belirli bir maliyet fonksiyonunu minimize eden bir veya birkaç bölgenin seçilmesi üzerine kurulmuştur. Tesis yerleşim planlaması için geliştirilen Karesel Atama (QAP) ya da Karesel Küme Kaplama (KKK, QSC) modellerinin karmaşıklık seviyesi ve her bir tesis için tüm olası konumların belirlenmesi çözüm aşamasında karşılaşılan önemli problemlerdir (Bazarra, 1975). Bu problem için önerilen KAP, KKK modelleri farklı ölçülerdeki tesislerin ya da olası konumları bilinmeyen tesislerin yerleştirilmesine de uygun değildir.

Bu sorunların giderilmesi için tesisleri geometrik özelliklerine göre modelleyen Sürekli Yerleşim (CFL) Modelleri geliştirilmiştir (Heragu ve Kusiak, 1990, Montreuil, 1991). Sürekli veya Genel Tesis Yerleşim Problemlerinde (STYP) tesis yerleşim bölgesinin seçiminde sınırlamanın olmadığı ve yeni tesisin bu bölgeye yerleştirileceği problem tipidir. Üretim tesislerinde hareketler koridorlar arasında olmaktadır, bu durumda rektilineer mesafeler kullanılmaktadır. Yerleştirilecek tesisin merkezine ait koordinatlar  $x_i$  ve  $y_i$  olmak üzere dikaçılı lineer mesafe (rektilineer;  $|d = (x_i - a) + (y_i - b)|$ ) şeklinde hesaplanır. En kısa yollu direkt bir hareket varsa, maliyet, mesafeyle kuadratik veya lineer orantılı (Euclidean;  $d = (x_i - a)^2 + (y_i - b)^2$ ) olarak ölçülmektedir. Bu modellerde tesisler genellikle dikdörtgenlerle temsil edilir. Optimum çözüm ise minimum malzeme taşıma maliyetine ( $c_{ij}$ ) sahip ve dikdörtgenlerin üstüste çakışmadığı yerleşim şeklidir.

*Sürekli Tesis Yerleşim Modeli:*

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{(i,j): i < j}^N c_{ij} (|x_i - x_j| \\ & + |y_i - y_j|) \end{aligned}$$

s.t.

$$|x_i - x_j| \geq \frac{1}{2}(w_i + w_j) \text{ veya}$$

$$|y_i - y_j| \geq \frac{1}{2}(h_i + h_j) \quad \forall i, j \in N \text{ ve } i < j$$

$$x_i, y_i \geq 0, \quad \forall i, j$$

STYP'nin çözümü için hem sezgisel hem de kesin algoritmalar geliştirildi. Montreuil(1991) tesis yerleşim problemini karışık-tam sayılı lineer programlama şeklinde modelledi. İkili (1-0) değişkenler, dikdörtgenlerin (tesislerin) örtüşmesini engelleyecek şekilde modellendi. Buna rağmen, yapılan çalışmalar bu yaklaşımın *en fazla beş tesis* için optimum çözüme ulaştığını ve uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Meller, Narayanan, ve Vance (1998) bu problemin çözümünde daha iyi bir doğrusal yaklaşım önerdiler ve hesaplama zamanını düşürmek için kesme metodları geliştirdiler. Buna rağmen, onların yaklaşımı *en fazla yedi tesis* için problemi çözebildi. Yang ve Peters'in (1998) karışık-tam sayılı lineer programlama modeli herbir tesisin daha uzun kenarlarını yerleşecek alanın yatay ve dikey eksenleri ile hizalanmasına imkan tanımaktadır. Jeroslow'a (1989) ait modeli geliştiren Özyurt ve Realff (1999), amaç fonksiyonundaki mutlak değer ifadesini parçalı doğrusal fonksiyonla göstererek büyük-M değişkenleri bulunmayan karışık-tamsayılı tesis yerleşim programlama modelini formüle etti. Shearli, Fraticelli ve Meller (2003), simetri indirgeme teknikleri ve dal-sınır kurallarını geliştirerek hesaplama hızını önemli ölçüde iyileştirdi.

Yerleşke probleminin karmaşık yapısı nedeniyle en yeni kesin çözüm algoritmaları bile sadece 10 civarında tesisin yerleşim problemini çözebilmektedir, gerçek hayat problemlerinde ise genelde 30-40 tesis söz konusudur. Büyük problemlerin çözümünde sezgisel yöntemler önerildi (Banarjee ve ark., 1992, Irohara ve Yamada, 2004, Kim ve Kim, 2000, Lacksonen, 1997, Langevin ve ark., 1994, Montreuil ve ark.,1993, Montreuil ve ark., 2004). Son çalışmalarda ise gider matrisinde belirsizlik olabileceği varsayıldı ve zamanla ortaya çıkabilecek değişim göz önünde tutularak dinamik tesis yerleşim modelleri geliştirildi (Balakrishnan ve Cheng, 1998, Benjaafar ve ark., 2002, Yang ve Peters,1998). Tesis yerleşim problemini Minimum Maliyet Akış Ağ Problemi şeklinde ele alan ve dal sınır algoritmaları uygulayan sezgisel yöntemler de önerildi (Xie ve Sahinidis, 2008).

### 6.3. Arayüz Tasarım Problemine Yaklaşım ve Kısıtlar

Yapacağımız çalışma sadece kullanıcı perspektifini tasarıma yansıtmakla kalmayacak; *kullanılabilirliğinin yanı sıra tasarımcıların yerleşim açısından göz önünde tuttuğu*

- ❖ fonksiyonel, şekilsel ve boyutsal faktörler;
- ❖ göstergelerin çalışma yapıları gereği (yüksek voltaj, sıcaklık, sarsıntı, manyetik etkiler) diğer göstergelerle yan yana gelmesi ya da gelmemesi, aralarında belirli bir mesafe bırakılması,
- ❖ göstergenin paketi (bağlantı kabloları, güç üniteleri),
- ❖ gösterge paneli ve buna ait elemanların boyutları, şekilleri vb.

çok çeşitli kısıtlar bütünleşik bir halde değerlendirilecektir. Göstergelerin panelde birbirleriyle entegrasyonunu tasarımın son aşamasına bırakmak yerine, önerdiğimiz bütüncül model ile insan faktörler, kullanılabilirlik, zihinsel yük, ergonomik şartlar, mühendislik gerekleri ve çalışma koşulları göz önünde tutulacak ve gösterge paneli tasarlanacaktır.

Arayüz literatüründe tek bir göstergenin tasarlanmasına ve kullanılabilirliğinin değerlendirilmesine yönelik nitel yaklaşımlar mevcuttur ancak;

- ❖ göstergelerin sundukları bilgilerin birbirleriyle etkileşimi, bu etkileşime göre göstergelerin kokpitde herhangi bir yerde ya da panel üzerinde konumlandırılması ve bu bilgilerin kullanıcıya aktarımını dikkate alan,
- ❖ kullanılabilirliğinin yanı sıra tasarımcıların yerleşim açısından göz önünde tuttuğu fonksiyonel, şekilsel ve boyutsal faktörleri, göstergelerin çalışma yapıları gereği diğer göstergelerle yan yana gelmesi ya da gelmemesini, göstergenin paketini göz önünde tutan

kullanıcı dostu arayüz tasarımıyla ilgili özgün bir tasarım metodolojisi ve optimizasyon yöntemi şu ana kadar önerilememiştir. Göstergeler (analog ve dijital) fonksiyonel ve işlevsel açıdan kokpit içinde birbirleriyle uyum içerisinde ve sistemin kullanılabilirliğini optimize edecek şekilde sürekli bir alan (continuous, sürekli) üzerine yerleştirilecektir. Nitel ve Nicel ihtiyaçlara göre problemi ayrı ayrı çözüp ikisinin sonuçlarını daha sonra birleştirmek yerine, kurulacak model tanımlanan kısıtlarla Nitel ve Nicel gereklerin tamamını içerecektir. Yerleşke tasarımı aşağıdaki durumlar dikkate alınarak optimize edilecektir:

- ❖ *Toplam alanın aşılmasına yönelik kısıtlar:* Göstergelerin boyutları (eni, boyu), şekli ve yerleştirme yapılacak alanın (panelin) büyüklüğüne yönelik fiziksel kısıtlar; hiçbir komponent verilen hacim, alan dışında kalmamalıdır.
- ❖ *Çakışma kısıtları:* Göstergelerin üstüste çakışmasını engellleyen kısıtlar,
- ❖ *Görece kısıtları:* Ergonomik gerekler, kullanılabilirlik ya da göstergelerin fonksiyonları, çalışma koşulları (manyetik alan, sıcaklık, voltaj,vb.) nedeniyle birbirlerine yakın, bitişik ya da birbirlerinden uzakta bulunmalarını, aralarında belirli bir mesafe olmasını sağlayacak şekilde kısıtlar bulunacak ve

- ❖ *Amaç fonksiyonu:* Tüm bu kısıtlar altında göstergelerin birbiriyle etkileşimini ve sistemin bütünlüğünü göz önünde tutacak şekilde kullanılabilirlik gerekleri ve insan faktörleri açısından göstergelerin birbirlerine olan ağırlıklandırılmış uzaklıkları “zihinsel yükü” en azlayacak şekilde bir amaç fonksiyonu ile problem modellenecektir.

Göstergeler ve kontroller tek başlarına geliştirilirken sistemin bütünlüğü de sağlanabilecektir. Önerdiğimiz sistematik yaklaşım sayesinde karmaşık gösterge düzenlerinden, dizilimlerinden kurtulanabilir.

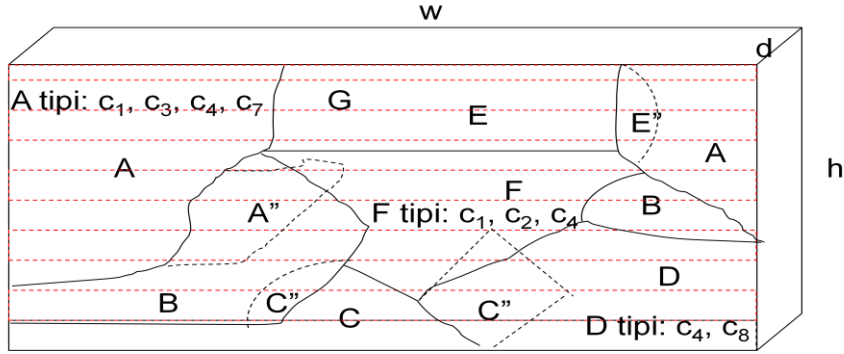
#### **6.4. Göreceli Yerleşke Optimizasyon Yöntemi**

Ana fikir: Literatürde bulunan çalışmalarda; iki ve üç boyutlu (sürekli) ortamlarda büyük bir nesnenin, alanın içine yerleştirilmesi ya da paketlenmesi gereken daha küçük nesnelerin olduğu durumlar araştırılırken sadece nesnelerin boyutları ve nesnelere arasındaki akış değerleri ya da malzeme taşıma maliyetleri göz önünde tutulmuştur.

Ancak tesis yerleşimi problemi dışındaki birçok yerleşke probleminde taşıma maliyeti dışında nesnelerin birbirlerine göre(celi) belli bir kural ve düzen içinde yerleştirilmesi gerekliliği de vardır. Yerleşke optimizasyonuna sırt çantası, paketleme, cam, kereste sanayi, depolama, gazete sayfalarının düzenlenmesi, tesis yerleşimi vb. örnek verilebilir. Yukarıdaki yerleşke tasarımlarına ilaveten göreceli yaklaşıma göre incelenebileceği değerlendirilen tasarımlar ise çip tasarımı, elektronik kartlar, makinelerin yerleşimi, araç içine yerleşecek motor aksamının tasarımı, hava aracı arayüzleri, uydular vb. mevcut alanın kısıtlı ancak bu alana yerleştirilmesi gereken elemanlar arasında ilişkilerin olduğu, bu ilişkilere göre elemanların birbirlerinin konumlarını etkilediği ve bu ilişkilerin, etkileşimlerin önceden bilindiği tasarımlardır. Kısacası tasarlanacak sistemin yapısı hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir.



Amaç: Her bir göstergenin yerinin (koordinatlar) tasarım için bulunmasıdır. Göreceli tasarımda (Şekil 6.1.), alanlar (A,B,C) ve bu alanlara yerleştirilmesi gereken (A:c<sub>1</sub>,c<sub>3</sub>,c<sub>4</sub>,c<sub>7</sub>, vb.) eleman kümeleri bellidir.

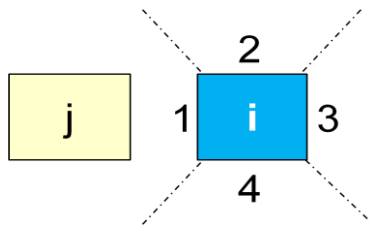


Şekil 6.1. İki ve üç boyutlu ortam için örnek konumlar

Göstergeler navigasyon sistemi göstergeleri ve mekanik sistem göstergeleri olmak üzere iki grup halinde bulunmaktadır. Önceki bölümlerde elde edilen arayüz tasarımında ve gerçek panelde mekanik sistemlere ait göstergelerin (X tipi) panelin ortasında ve navigasyona yönelik uçuş sistemi göstergelerinin (Y tipi) ise panelin yan tarafında bulunduğu tespit edildi. Göstergelerin çerçeveleri ise kareseldir.

#### 6.4.1. Görece kısıtları ve “k” görece indeksi

İki boyutlu dikdörtgensel (tesis yerleşke tasarımı, arayüz tasarımı, motor tasarımı, vb.) iki elemanın birbirlerine göre dört pozisyonu (Şekil 6.2.) olabilir. Üç boyutlu ortamda (devre kartları, mikroçipler, vb.) ise altı durum olabilir.



Şekil 6.2. i ve j elemanın göreceli durumları

İki elemanın ( $i/j$ ) birbirlerine göre konumlarını belirtmek için “k” Görece İndeksi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Örnek bir matris Çizelge 6.1.’de verilmiştir.

$k=0$  : iki eleman hiçbir şekilde yanyana gelemes.

$k=1-4$  : i. elemanın k. istikametinde j. eleman yerleştirilmelidir (arada boşluk tanımlanabilir).

$k=5$  : iki eleman birbirlerine göre herhangi bir konuma yerleştirilebilir.

$k= 1^* - 4^*$  : elemanlar birbirlerine komşudur ve i. elemanın k. Tarafına j. eleman yapışık bir şekilde arada boşluk olmadan yerleştirilmelidir.

Çizelge 6.1.  $i/j$  elemanın göreceli durumları (örnek)

$i/j$	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	5	1	0	1	0	0	4*
2		-	0	5	0	5	0	3
3			-	3	3	4	2*	0
4				-	1	0	0	4*
5					-	5	0	5
6						-	0	0
7							-	2
8								-

#### 6.4.2. Göreceli yerleşke optimizasyon modeli

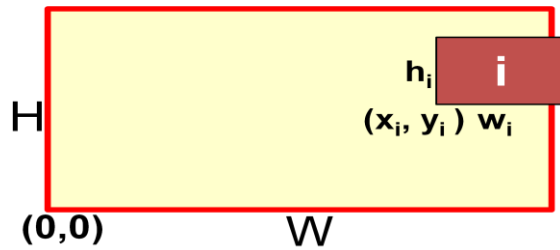
Panel üzerine yerleşecek 19 göstergeye ait konumların (koordinatların) belirlenmesi gerekmektedir. İnsan faktörleri, kullanılabilirlik, zihinsel yük, ergonomik şartlar vb. açısından göstergelerin birbirlerine yakın olmasını teşvik edecek ağırlıklar bulunmaktadır. Göstergelerin şekilleri (çerçeveleri) kareseldir. Mekanik sistemlere ait 10 gösterge ve navigasyon sistemlerine ait 9 gösterge bulunmaktadır. Panele yerleşecek her bir göstergenin sol alt

köşesi  $(x_i, y_i)$  koordinatlarıyla Şekil 6.3.'de tanımlanmaktadır. Panelin sol alt köşesi ise koordinat eksenin orjini  $(0,0)$  noktasıdır.



Şekil 6.3. Panel üzerindeki koordinatlar

İnsan faktörleri, kullanılabilirlik, zihinsel yük, ergonomik şartlar vb. açısından  $i$  ve  $j$  göstergelerinin birlikte takip edilmesi (çapraz kontrol, görüş alanı, sunulan bilginin önemi) için gereken kontrol edilme sıklığı  $w_{ij}$  (Min 1, Max 10) olmak üzere iki boyutlu genel *Göreceli Yerleşke Optimizasyonu* modeli aşağıda sunulmuştur. Bu model üç boyutlu ortamda yapılacak tasarımlara da kolaylıkla adapte edilebilir. Modelde *Amaç Fonksiyonu* göstergelerin birbirlerine olan ağırlıklandırılmış ( $w_{ij}$ ) karesel uzaklıkların minimizasyonu şeklinde tanımlandı. Yerleştirilecek göstergelerin eni ( $w_i$ ), boyu ( $h_i$ ) ve panel ölçüleri ( $W, H$ ) göz önünde tutularak verilen sürekli alan üzerinde mevcut panelin dışına çıkmadan herhangi bir yere yerleştirilmesi Kısıt 8.2. ve Kısıt 8.3. ile sağlanmaktadır. Bu durum Şekil 6.4.'de görülmektedir.



Şekil 6.4. Panel dışında bulunma durumu (Kısıt 8.2.,8.3.)

*Genel Göreceli Yerleşke Optimizasyon Modeli:*

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ i < j}}^N [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2] w_{ij} \quad (8.1.)$$

s.t.

$$x_i \leq W - w_i, \quad \forall \quad i: 1-N \quad (8.2.)$$

$$y_i \leq H - h_i, \quad \forall \quad i: 1-N \quad (8.3.)$$

$$x_i \leq x_j - w_i \quad \text{veya} \quad x_j \leq x_i - w_j \quad \text{veya} \quad (8.4.)$$

$$y_i \leq y_j - h_i \quad \text{veya} \quad y_j \leq y_i - h_j, \quad \forall \quad i, j: 1-N, i \neq j$$

*Eğer k=0* (8.5.)

$$\text{j sağda} \quad x_i \leq x_j - \mu \quad \forall \quad \text{görece } i, j \text{ } i \neq j \text{ ve } x_i + w_i + x_j + w_j \leq W - \mu$$

$$\text{j solda} \quad x_j \leq x_i - \mu \quad \forall \quad \text{görece } i, j \text{ } i \neq j \text{ ve } x_i + w_i + x_j + w_j \leq W - \mu$$

$$\text{j üstte} \quad y_i \leq y_j - \beta \quad \forall \quad \text{görece } i, j \text{ } i \neq j \text{ ve } y_i + h_i + y_j + h_j \leq H - \beta$$

$$\text{j altta} \quad y_j \leq y_i - \beta, \quad \forall \quad \text{görece } i, j \text{ } i \neq j \text{ ve } y_i + h_i + y_j + h_j \leq H - \beta$$

*Eğer k=1* (8.6.)

$$\text{j solda} \quad x_j \leq x_i - w_j \quad \forall \quad \text{görece} \quad i, j \text{ } i \neq j$$

$$\text{Herhangi bir yerde} \quad y_j \leq H - h_j, \quad \forall \quad \text{görece} \quad i, j \text{ } i \neq j$$

*Eğer k=2* (8.7.)

$$\text{Herhangi bir yerde} \quad x_j \leq W - w_j \quad \forall \quad \text{görece} \quad i, j \text{ } i \neq j$$

$$\text{j üstte} \quad y_i \leq y_j - h_i, \quad \forall \quad \text{görece} \quad i, j \text{ } i \neq j$$

*Eğer k=3* (8.8.)

$$\text{j sağda} \quad x_i \leq x_j - w_i \quad \forall \quad \text{görece} \quad i, j \text{ } i \neq j$$

$$\text{Herhangi bir yerde} \quad y_j \leq H - h_j, \quad \forall \quad \text{görece} \quad i, j \text{ } i \neq j$$

*Eğer k=4* (8.9.)

$$\text{Herhangi bir yerde} \quad x_j \leq W - w_j \quad \forall \quad \text{görece} \quad i, j \text{ } i \neq j$$

$$\text{j altta} \quad y_j \leq y_i - h_j, \quad \forall \quad \text{görece} \quad i, j \text{ } i \neq j$$

*Eğer k=5* (8.10.)

$$x_i \leq x_j - w_i \text{ veya } x_j \leq x_i - w_j \text{ veya}$$

$$y_i \leq y_j - h_i \text{ veya } y_j \leq y_i - h_j, \quad \forall \quad i, j: 1-N, i \neq j$$

Eğer  $k=1^*$  (8.11.)

j solda  $x_j = x_i - w_j$   $\forall$  görece  $i, j \neq j$   
 Aynı koordinatda  $y_j = y_i$   $\forall$  görece  $i, j \neq j$

Eğer  $k=2^*$  (8.12.)

Aynı koordinatda  $x_j = x_i$   $\forall$  görece  $i, j \neq j$   
 j üstte  $y_i = y_j - h_i$ ,  $\forall$  görece  $i, j \neq j$

Eğer  $k=3^*$  (8.13.)

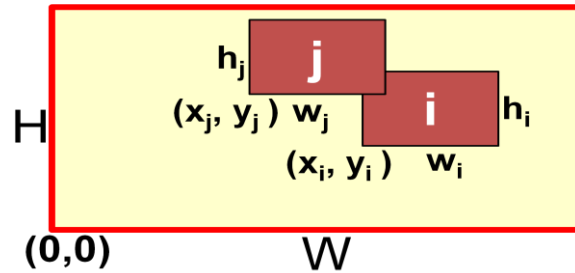
j sağda  $x_i = x_j - w_i$   
 Aynı koordinatda  $y_i = y_j$ ,  $\forall$  görece  $i, j \neq j$

Eğer  $k=4^*$  (8.14.)

Aynı koordinatda  $x_i = x_j$   $\forall$  görece  $i, j \neq j$   
 j altta  $y_j = y_i - h_j$ ,  $\forall$  görece  $i, j \neq j$

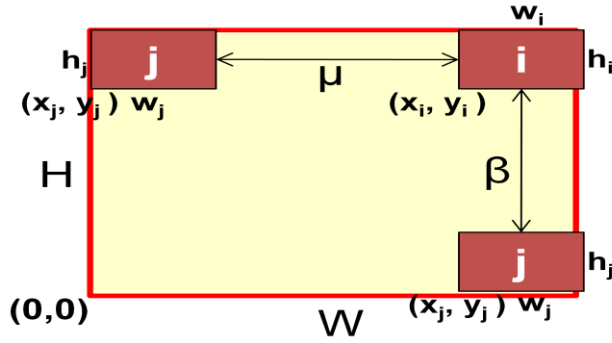
$x_i, y_i \geq 0$ ,  $\forall i: 1-N$  (8.15.)

İki göstergenin birbirleri üzerinde üst üste çakışmaları; binmeleri Kısıt 8.4. ile engellenmektedir. Bu durum Şekil 6.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Göstegerlerin üstüste çakışma durumu (Kısıt 8.4.)

Görece indeksinin  $k=0$  değeri “iki eleman hiçbir şekilde yanyana gelemez” durumu için yazılan Kısıt 8.5.'de  $i$  ve  $j$  nesneleri arasında en fazla  $\mu$ ; “ $x_i + w_i + x_j + w_j \leq W - \mu$ ” ve  $\beta$ ; “ $y_i + h_i + y_j + h_j \leq H - \beta$ ” kadar boşluk bulunması da şart koşulabilir.



Şekil 6.6. Göstergeler için maksimum boşluklar (Kısıt 8.5.)

İki göstergenin birbirlerine göre solda, üstte, sağda ve altta olma durumları ( $k=1,2,3,4$  Şekil 6.2.) için Kısıt 8.6., 8.7., 8.8. ve 8.9. ile ifade edildi. Görece indeksinin  $k=5$  değeri “iki eleman birbirlerine göre herhangi bir konuma yerleştirilebilir” durumu Kısıt 8.10.’da verildi. Kısıt 8.10., 8.11., 8.12. ve 8.13.’de görece indeksinin  $k=1^* -4^*$  “elemanlar birbirlerine komşudur ve  $i$ . elemanın  $k$ . tarafında  $j$ . eleman yapışık bir şekilde arada boşluk olmadan yerleştirilmelidir.” durumu ifade edildi. Tüm değişkenlerin pozitif değer alma durumu ise son kısıt ile gösterildi. Bu modelde görece indeksinin  $k=1,2,3,4$  değerleri için yazılan ikili kısıt setlerinden herhangi bir yerde olma\_durumu olan kısıtlar (8.6, 8.7, 8.8, 8.9), göstergelerin panel ölçüleri dışına çıkmadan herhangi bir yere yerleştirilmesini sağlayan kısıtlar (8.2. ve 8.3.) tarafından kapsanmaktadır, bu nedenle (8.6, 8.7, 8.8, 8.9) kısıtları gereksiz (redundant) kısıtlardır.

Aynı şekilde görece indeksinin  $k=5$  değeri için yazılan iki eleman birbirlerine göre herhangi bir konuma yerleştirilebilir kısıtı (8.10) da göstergelerin üst üste çakışmalarını engelleyen kısıt (8.4.) ile ayndır. Bu nedenle bu kısıt da gereksizdir. Gereksiz kısıtlar modelden çıktıktan sonra sadeleştirilmiş model aşağıdaki şekli alır.

**Sadeleştirilmiş Göreceli Yerleşke Optimizasyon Modeli:**

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ i < j}}^N [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2] w_{ij}$$

s.t.

$$x_i \leq W - w_i, \quad \forall \quad i: 1-n$$

$$y_i \leq H - h_i, \quad \forall \quad i: 1-n$$

$$\begin{aligned} x_i \leq x_j - w_i \quad \text{veya} \quad x_j \leq x_i - w_j \quad \text{veya} \\ y_i \leq y_j - h_i \quad \text{veya} \quad y_j \leq y_i - h_j, \quad \forall \quad i, j: 1-N, i \neq j \end{aligned}$$

**Eğer k=0**

$$\begin{aligned} j \text{ sağda} \quad x_i \leq x_j - \mu \quad \forall \text{ görece } i, j \neq j \text{ ve } x_i + w_i + x_j + w_j \leq W - \mu \\ j \text{ solda} \quad x_j \leq x_i - \mu \quad \forall \text{ görece } i, j \neq j \text{ ve } x_i + w_i + x_j + w_j \leq W - \mu \\ j \text{ üstte} \quad y_i \leq y_j - \beta \quad \forall \text{ görece } i, j \neq j \text{ ve } y_i + h_i + y_j + h_j \leq H - \beta \\ j \text{ altta} \quad y_j \leq y_i - \beta, \quad \forall \text{ görece } i, j \neq j \text{ ve } y_i + h_i + y_j + h_j \leq H - \beta \end{aligned}$$

**Eğer k=1**

$$j \text{ solda} \quad x_j \leq x_i - w_j \quad \forall \text{ görece} \quad i, j \neq j$$

**Eğer k=2**

$$j \text{ üstte} \quad y_i \leq y_j - h_i, \quad \forall \text{ görece} \quad i, j \neq j$$

**Eğer k=3**

$$j \text{ sağda} \quad x_i \leq x_j - w_i \quad \forall \text{ görece} \quad i, j \neq j$$

**Eğer k=4**

$$j \text{ altta} \quad y_j \leq y_i - h_j, \quad \forall \text{ görece} \quad i, j \neq j$$

**Eğer k=1\***

$$j \text{ solda} \quad x_j = x_i - w_j \quad \forall \text{ görece} \quad i, j \neq j$$

$$\text{Aynı koordinatda} \quad y_j = y_i \quad \forall \text{ görece} \quad i, j \neq j$$

**Eğer k=2\***

$$\text{Aynı koordinatda} \quad x_j = x_i \quad \forall \text{ görece} \quad i, j \neq j$$

$$j \text{ üstte} \quad y_i = y_j - h_i, \quad \forall \text{ görece} \quad i, j \neq j$$

**Eğer k=3\***

$$j \text{ sağda} \quad x_i = x_j - w_i$$

$$\text{Aynı koordinatda} \quad y_i = y_j, \quad \forall \text{ görece} \quad i, j \neq j$$

**Eğer k=4\***

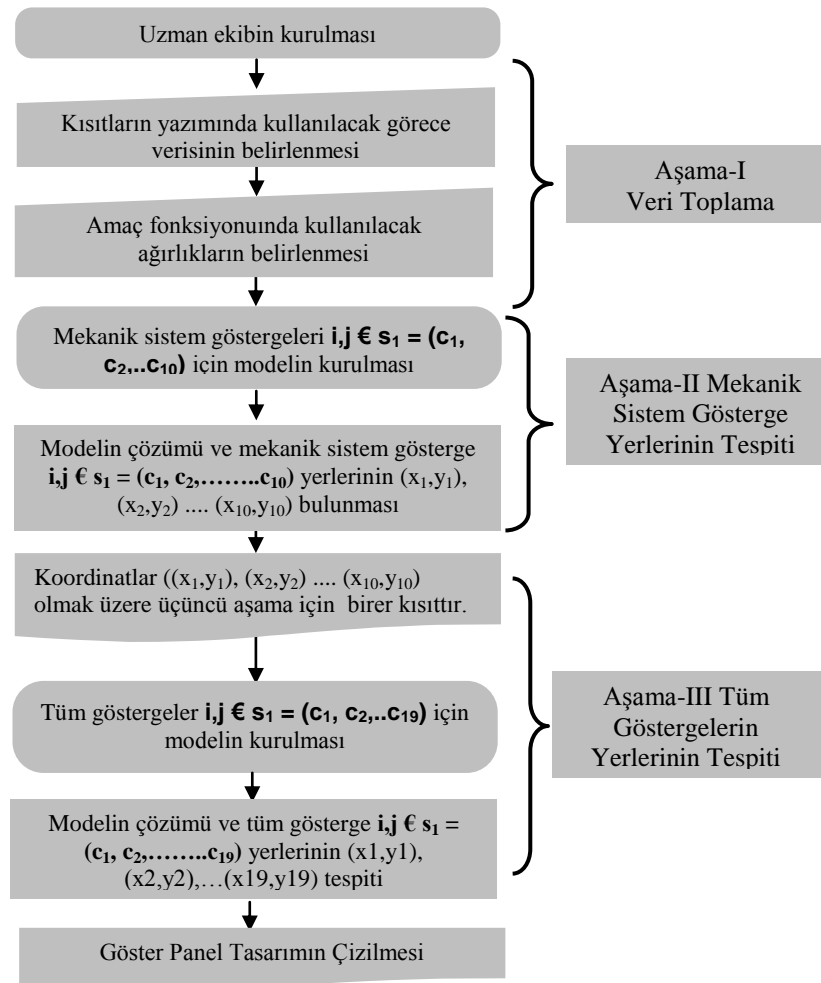
$$\text{Aynı koordinatda} \quad x_i = x_j \quad \forall \text{ görece} \quad i, j \neq j$$

$$j \text{ altta} \quad y_j = y_i - h_j, \quad \forall \text{ görece} \quad i, j \neq j$$

$$x_i, y_i \geq 0, \quad \forall \quad i: 1-N$$

## 6.5. Problemin Çözümü

Göstergeler navigasyon sistemi ve mekanik sistem göstergeleri olmak üzere iki grub halinde bulunduğu mekanik sistemlere ait göstergelerin (X tipi) paneli ortasındaki alanda ve navigasyona yönelik göstergelerin (Y tipi) ise panelin yan tarafında yerleştiği Nitel, Nicel, birleşik arayüz tasarım çalışma sonuçlarında ve gerçek panelde görüldü. Bu nedenle öncelikle mekanik sistemlere ait göstergelerin konumları tespit edilecek, buna göre panelin yanlarında bulunan navigasyon göstergelerinin yerleri belirlenecektir. Göreceli yerleşke optimizasyon probleminin çözümüne yönelik akış şeması Şekil 6.7.'de adımlar ve aşamalar halinde gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Göreceli yerleşke optimizasyonu için akış şeması



Panelin yerleşkesi birinci (kaptan) pilotun pozisyonuna göre optimize edilecek ve navigasyon göstergeleri için bulunan koordinatlar ikinci (yardımcı) pilotun panele bakış açısına göre simetrik şekilde alınacaktır. Bunun nedeni sistemlere ait göstergelerden birer tane ancak navigasyon sistemine ait her bir göstergeden iki tane mekanik olmasıdır. Navigasyon sistemine ait göstergelerden herhangi birinin (Örneğin Hız göstergesi,  $x_1$ ) matematiksel modelde iki defa gösterilmesi ya da iki farklı ağırlık tanımlanması mümkün değildir. Mevcut helikopter kokpitleri incelendiğinde de navigasyon göstergelerinin konumlarının pilotun sağ ya da sol koltukta oturmasından etkilenmediği görülmüştür.

#### *Aşama I: Veri Toplama*

Görece verisi ergonomik kısıtlar, göstergelerin fonksiyonları ya da çalışma koşulları nedeniyle (manyetik alan, sıcaklık, voltaj,vb.) birbirlerine yakın, bitişik ya da birbirlerinden uzakta bulunmalarını, aralarında belirli bir mesafe olmasını sağlayacak şekilde uzman ekip tarafından belirlenmiştir. Yeni panel tasarımında kullanılacak olan 19 göstergeye ait görece verisi Çizelge.9.2.'de sunulmuştur.

İki göstergenin ( $i/j$ ) birbirlerine göre pozisyonları “k” Görece İndeksi ile tanımlanmıştır. Buna göre yerleştirilecek göstergeler  $k=0$  (iki eleman hiçbir şekilde yanyana gelemez),  $k=1-4$  (i. elemanın k. istikametinde j. eleman yerleştirilmelidir),  $k=5$  (iki eleman birbirlerine göre herhangi bir konuma yerleştirilebilir) ve  $k= 1^* -4^*$  : elemanlar birbirlerine komşudur ve i. elemanın k. tarafında j. eleman yapışık bir şekilde arada boşluk olmadan yerleştirilmelidir.

Dünya da kullanılan helikopter kokpitlerinde Hız, Pozisyon, Yükseklik ve Varyometre navigasyon göstergeleri arasında “T” düzeninin olduğu belirlenmiştir. Kullanıcılarla yapılan görüşmelerde “T” düzeninin bu dört gösterge arasında Çapraz Kontrol, Görüş Alanı, Kontrol Kolaylığı vb.

açısından kabul edilen bir yerleşim şekli olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle Çizelge 6.2.'de bu dört gösterge için "T" düzenine uygun görece verisi belirlenmiştir. Pusula Göstergesi; Pozisyon ve Radyo Pusula göstergelerinden çalışma koşulları nedeniyle (manyetik alan, sıcaklık, voltaj, vb.) etkilenmeyecek şekilde mümkün olduğunca uzağa yerleştirilmesi için görece verisi hazırlanmıştır.

Yakıt Basınç ve Yakıt Miktar göstergeleri, Motor Yağ Basınç ve Motor Sıcaklık göstergeleri, Transmisyon Yağ Basınç ve Transmisyon Yağ Sıcaklık göstergelerinin panel üzerinde herhangi bir yerde ancak kullanılabilirlik ve ergonomi gereklerine göre; Çapraz Kontrol (aynı anda birden fazla göstergeye bakma durumu halinde göstergenin konumu), Görüş Alanı (sunulan bilgilerin hızlı bir şekilde birlikte okunabilirliği ve algılanabilirliği açısından görüş alanı düşünülürse göstergenin konumu) motor, transmisyon göstergelerinin kontrol kolaylığı (aynı sisteme ait göstergelerin birbirine yakınlığı ve yerleşim şekli; örneğin motor göstergelerinin ayrı gruplar oluşturması, ya da yakıt sistemine ait basınç ve miktar göstergelerinin, motor sistemine ait sıcaklık ve basınç göstergelerinin konumları gibi) yanyana ve altalta olmasına imkan tanıyacak şekilde görece verisi oluşturulmuştur.

Aynı nedenlerden ötürü Motor Yağ Sıcaklık ve Transmisyon Yağ Sıcaklık göstergeleri ile N1 ve EGT (Exhaust Gas Temperature) göstergelerinin yanyana olmasına imkan tanıyacak şekilde görece verisi belirlenmiştir. Çizelge 6.2.'de verilen görece verisine göre kısıtlar oluşturulacaktır. Tüm bu kısıtlar altında göstergelerin birbiriyle etkileşimini ve sistemin bütünlüğünü göz önünde tutacak şekilde i ve j göstergelerinin birlikte takip edilme ve kontrol edilme sıklığına göre uzman ekip tarafından verilen ağırlıklar  $w_{ij}$  (Min 1 – Max 10) Çizelge 6.3.'de sunulmuştur.

Çizelge 6.2. Göstergeler için görece verisi

Gösterge i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1 Hız göstergesi	0	3*	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
2 Pozisyon göstergesi		0	3*	5	5	5	5	4*	5	4 '45'	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
3 Yükseklik göstergesi			0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
4 Yakıt basınç göstergesi				0	3*	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4*	5	5	5	
5 Yakıt miktar göstergesi					0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
6 Dual takometre						0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
7 Radyo pusula							0	5	5	4 '30'	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
8 Varyometre								0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
9 Torkmetre									0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
10 Pusula										0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
11 Ana jeneratör yükmetre											0	5	5	5	5	5	5	5	5	
12 Voltmetre												0	5	5	5	5	5	5	5	
13 Saat													0	5	5	5	5	5	5	
14 N1 göstergesi														0	5	5	5	5	1*	
15 EGT göstergesi															0	5	1*	5	5	
16 Motor yağ basınç gös.																0	3*	4*	5	
17 Motor yağ sıcaklık gös.																	0	5	5	
18 Transmisyon yağ basınç																		0	3*	
19 Transmisyon yağ sıcaklık																				0

Çizelge 6.3. Göstergeler için ağırlıklar

Gösterge i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1 Hız göstergesi		10	8	1	1	7	3	9	9	5	2	3	1	8	7	1	1	1	1
2 Pozisyon göstergesi			10	1	1	4	4	10	7	6	2	2	1	1	1	1	1	1	1
3 Yükseklik göstergesi				1	1	7	9	9	2	2	1	1	6	1	1	1	1	1	1
4 Yakıt basınç göstergesi					10	2	0	1	4	0	3	2	1	7	5	10	9	8	7
5 Yakıt miktar göstergesi						3	0	1	5	0	2	3	1	10	8	8	10	7	8
6 Dual takometre							6	10	10	2	5	7	3	9	10	1	1	1	1
7 Radyo pusula								5	6	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
8 Varyometre									9	2	1	0	2	3	2	1	1	1	1
9 Torkmetre										1	3	3	3	10	9	1	2	1	2
10 Pusula											0	0	5	0	0	0	0	0	0
11 Ana jeneratör yükmetre												10	1	1	2	6	5	9	8
12 Voltmetre													0	3	4	5	6	8	9
13 Saat														1	0	0	0	0	0
14 N1 göstergesi															10	6	7	3	4
15 EGT göstergesi																8	10	6	7
16 Motor yağ basınç gös.																	10	10	8
17 Motor yağ sıcaklık gös.																		8	9
18 Transmisyon yağ basınç																			10
19 Transmisyon yağ sıcaklık																			

### Aşama II: Mekanik Sistem Gösterge Konumlarının Tespiti

Mekanik sistem göstergeleri  $i, j \in S_1 = (c_1, c_2, \dots, c_{10})$  için kurulan model aşağıdaki şekildedir. Yerleştirilecek göstergelerin eni ( $w_i$ ) ve boyu ( $h_i$ ) ile panel ölçüleri ( $W \times H$ ) ve mekanik sistem göstergelerine ait ağırlıklara (Çizelge 6.3.) göre göstergelerin birbirlerine olan ağırlıklandırılmış ( $w_{ij}$ ) karesel uzaklıkları minimize edecek bir amaç fonksiyonu oluşturulmuştur. Burada  $W=45$  ve  $H=60$  birimdir. Her bir gösterge için en ve boy ölçüleri 15 birimdir. Modelde her bir göstergenin yerleştirileceği konumlar  $x_i$  ve  $y_i$  koordinatları ile; Yakıt basınç göstergesi ( $x_1, y_1$ ), Yakıt miktar göstergesi ( $x_2, y_2$ ), Ana jeneratör yükmetre ( $x_3, y_3$ ), Voltmetre ( $x_4, y_4$ ), N1 göstergesi ( $x_5, y_5$ ), EGT göstergesi ( $x_6, y_6$ ), Motor yağ basınç göstergesi ( $x_7, y_7$ ), Motor yağ sıcaklık göstergesi ( $x_8, y_8$ ), Transmisyon yağ basınç göstergesi ( $x_9, y_9$ ), ve Transmisyon yağ sıcaklık göstergesi ( $x_{10}, y_{10}$ ) tanımlanmıştır.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{10} \sum_{\substack{j=1 \\ i < j}}^{10} [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2] w_{ij}$$

s.t.

$$x_i \leq W - 15, \quad \forall i: 1-10$$

$$y_i \leq H - 15, \quad \forall i: 1-10$$

$$x_i \leq x_j - 15 \text{ veya } x_j \leq x_i - 15 \text{ veya}$$

$$y_i \leq y_j - 15 \text{ veya } y_j \leq y_i - 15, \quad \forall i, j: 1-10, i \neq j$$

$$x_1 = x_2 - 15$$

$$y_1 = y_2$$

$$x_1 = x_7$$

$$y_1 = y_7 + 15$$

$$x_7 = x_8 - 15$$

$$y_7 = y_8$$

$$x_7 = x_9$$

$$y_7 = y_9 + 15$$

$$x_9 = x_{10} - 15$$

$$y_9 = y_{10}$$

$$x_{10} \leq x_5 - 15$$

$$x_8 \leq x_6 - 15 \quad \text{ve } x_i, y_i \geq 0 \quad \forall i: 1-10.$$

Mekanik sistem göstergeleri için hazırlanan göreceli yerleşke optimizasyon modeli ILOG OPL Development Studio 5.5 yazılımına aktarılarak çözülmüş ve optimum çözüme (Opt:183681) 15.77 saniyede ulaşılmıştır. Bu durum “görece kısıtlarının” çözüm zamanı üzerindeki etkinliğini de ortaya koymuştur. Zira literatürde genelde 7 ve üzerinde eleman bulunan yerleşke tasarımlarında optimum çözüme ulaşılamamakta ya da çok uzun sürelerde ulaşılmakta, en yeni kesin çözüm algoritmaları bile sadece 10 civarında tesisin yerleşim problemini çözebilmekte, bu nedenle sezgisel algoritmalar kullanılmaktadır (Xie ve Sahinidis, 2008).

*Burada yeni tanımladığımız görece kısıtları ise çözüm uzayının daraltılmasında ve çözüme hızlı bir şekilde ulaşılmada adeta tam sayılı programlamadaki “kesme kısıtı” gibi hareket etmiştir. Mekanik göstergelere ait koordinatlar Çizelge 6.4.’de verilmiştir. Bulunan koordinatlar  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$  ....  $(x_{10}, y_{10})$  olmak üzere bu konumlar üçüncü aşama için birer kısıttır.*

Çizelge 6.4. Mekanik göstergeler için koordinatlar

<b>Gösterge i/j</b>	<b>Xi</b>	<b>Yi</b>
1 Yakıt basınç göstergesi	0	45
2 Yakıt miktar göstergesi	15	45
3 Ana jeneratör yükmetre	13	0
4 Voltmetre	30	12
5 N1 göstergesi	30	42
6 EGT göstergesi	30	27
7 Motor yağ basınç göstergesi	0	30
8 Motor yağ sıcaklık göstergesi	15	30
9 Transmisyon yağ basınç	0	15
10 Transmisyon yağ sıcaklık	15	15

### Aşama III: Tüm Göstergelerin Yerlerinin Tespiti

Yerleştirilecek 19 gösterge  $i, j \in s_1 = (c_1, c_2, \dots, c_{19})$  için kurulan göreceli model aşağıdaki şekildedir. Burada  $W=90$  ve  $H=60$  birimdir. Her bir gösterge için en ve boy ölçüleri 15 birimdir. Daha önce açıklanan nedenlerden ötürü II. Aşamada bulunan mekanik sistem göstergelerine ait koordinatlar burada birer kısıt olarak modele eklenmiş ve bu göstergelerin yerleri sabitlenmiştir. Bu koordinatlara göre panelin yan kısmında bulunan navigasyon göstergelerinin yerleri belirlenecektir.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{19} \sum_{\substack{j=1 \\ i < j}}^{19} [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2] w_{ij}$$

**s.t.**

$$x_i \leq W - 15, \quad \forall i: 1-19$$

$$y_i \leq H - 15, \quad \forall i: 1-19$$

$$x_i \leq x_j - 15 \text{ veya } x_j \leq x_i - 15 \text{ veya}$$

$$y_i \leq y_j - 15 \text{ veya } y_j \leq y_i - 15, \quad \forall i, j: 1-19, i \neq j$$

$$x_1 = x_2 - 15$$

$$y_1 = y_2$$

$$x_2 = x_3 - 15$$

$$y_2 = y_3$$

$$x_2 = x_8$$

$$y_2 = y_8 + 15$$

$$y_{10} + 45 \leq y_2$$

$$y_{10} + 30 \leq y_7$$

$$x_4 = 0, y_4 = 45$$

$$x_5 = 15, y_5 = 45$$

$$x_{11} = 13, y_{11} = 0$$

$$x_{12} = 30, y_{12} = 12$$

$$x_{14} = 30, y_{14} = 42$$

$$x_{15}=30, y_{15}=27$$

$$x_{16}=0, y_{16}=30$$

$$x_{17}=15, y_{17}=30$$

$$x_{18}=0, y_{18}=15$$

$$x_{19}=15, y_{19}=15$$

$$x_i, y_i \geq 0, \forall i : 1-19.$$

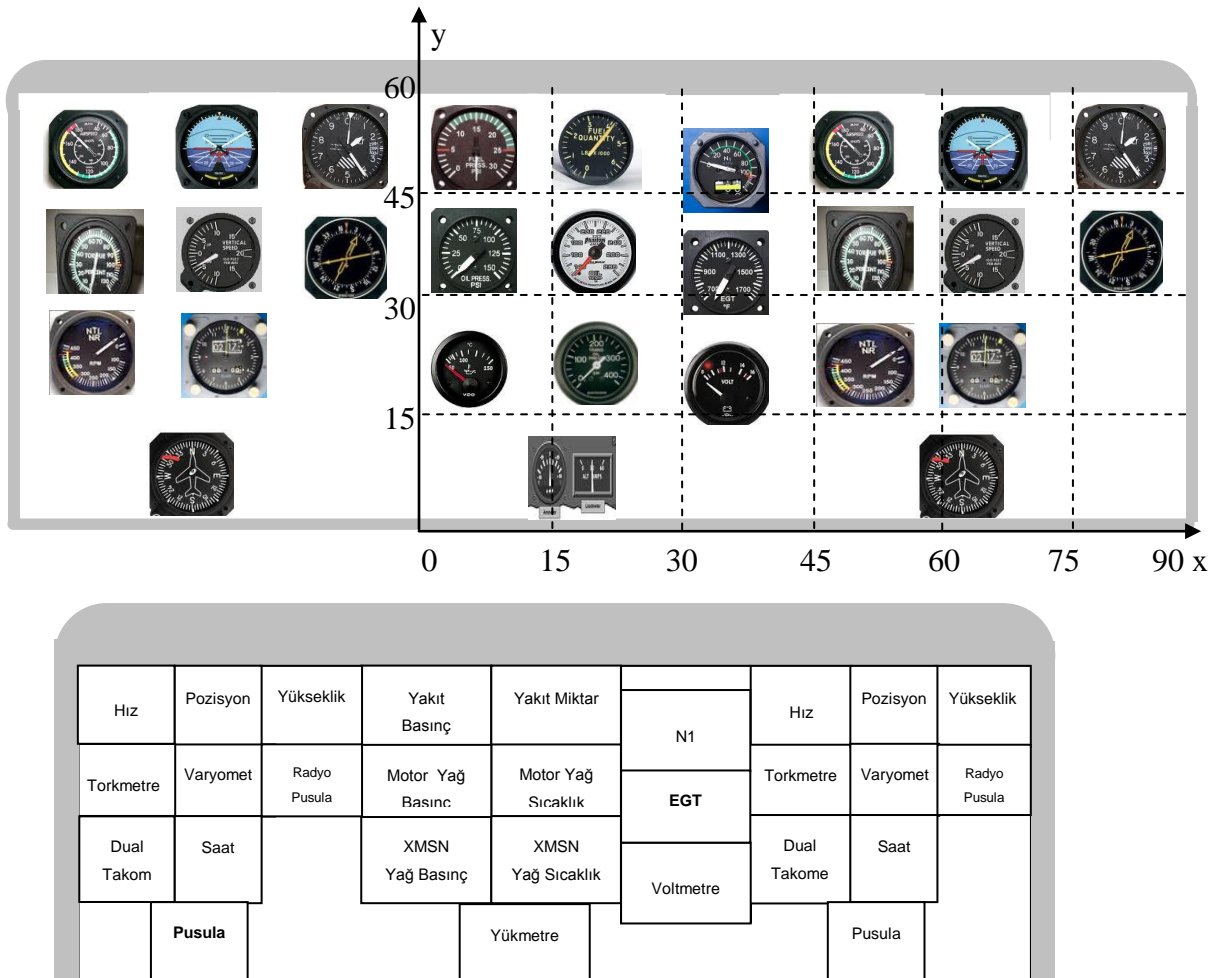
Modelde her bir göstergenin yerleştirileceği konumlar  $x_i$  ve  $y_i$  koordinatlarıyla; Hız göstergesi ( $x_1, y_1$ ), Pozisyon göstergesi ( $x_2, y_2$ ), Yükseklik göstergesi ( $x_3, y_3$ ), Yakıt basınç göstergesi ( $x_4, y_4$ ), Yakıt miktar göstergesi ( $x_5, y_5$ ), Dual takometre ( $x_6, y_6$ ), Radyo pusula ( $x_7, y_7$ ), Varyometre ( $x_8, y_8$ ) Torkmetre ( $x_9, y_9$ ), Pusula ( $x_{10}, y_{10}$ ), Ana jeneratör yükmetre ( $x_{11}, y_{11}$ ), Voltmetre ( $x_{12}, y_{12}$ ), Saat ( $x_{13}, y_{13}$ ), N1 ( $x_{14}, y_{14}$ ), EGT ( $x_{15}, y_{15}$ ), Motor yağ basınç ( $x_{16}, y_{16}$ ), Motor yağ sıcaklık ( $x_{17}, y_{17}$ ), Transmisyon yağ basınç ( $x_{18}, y_{18}$ ),) ve Transmisyon yağ sıcaklık göstergesi ( $x_{19}, y_{19}$ ) tanımlanmıştır.

Çizelge 6.5.Göstergeler için koordinatlar

Gösterge i/j	$X_i$	$Y_i$	Gösterge i/j	$X_i$	$Y_i$
1 Hız göstergesi	45	45	11 Ana jeneratör yükmetre	13	0
2 Pozisyon göstergesi	60	45	12 Voltmetre	30	12
3 Yükseklik göstergesi	75	45	13 Saat	60	15
4 Yakıt basınç göstergesi	0	45	14 N1 göstergesi	30	42
5 Yakıt miktar göstergesi	15	45	15 EGT göstergesi	30	27
6 Dual takometre	45	15	16 Motor yağ basınç gös.	0	30
7 Radyo pusula	75	30	17 Motor yağ sıcaklık gös.	15	30
8 Varyometre	60	30	18 Transmisyon yağ basınç	0	15
9 Torkmetre	45	30	19 Transmisyon yağ sıcaklık	15	15
10 Pusula	57	0			



Model ILOG OPL Development Studio 5.5 yazılımında çözülmüş ve optimum çözüme (Opt:526218) 9 dakika 2.51 saniyede ulaşılmıştır. Burada da yine hem optimum çözüme ulaşılması hemde çözüm zamanı “görece kısıtlarının” etkinliğini ortaya koymuştur. Sonuçlar Çizelge 6.5.’de verilmiştir. Elde edilen koordinatlara göre göstergeler panel üzerine yerleştirilmiştir. Göreceli yerleşke optimizasyonu sonunda elde edilen tasarım Şekil 6.8.’de sunulmuştur. Daha önceden açıklandığı üzere panelin yerleşkesi birinci (kaptan) pilotun pozisyonuna göre optimize edildi, navigasyon göstergeleri için bulunan koordinatlar ikinci (yardımcı) pilot için pilotun panele bakış açısına göre simetrik şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 6.8. Göreceli optimizasyon ile panel tasarımı

## 6.6. Kümeleme Algoritması ve Aşamalı Çözüm Yaklaşımı

Çeşitli özel durumlar hariç olmak üzere tesis yerleşiminde kesin sonuç veren (exact algorithms) yöntemler KAP'leri için en fazla 15, STYP için ise en fazla 10 tesis yerleşimi için optimum sonucu bulabilmektedir. Gerçek hayatta ise tesis sayısının 30-40 olduğu problemler vardır. Optimizasyon problemlerinin çözümünde artan karmaşıklık seviyesine (NP-Zor) göre sezgisel yöntemler kullanılabilir.

Görece kısıtlarının çözüm süresini yeterince kısaltmaması ya da optimum çözümün bulunamaması durumunda yerleşke problemlerinin çözümü için literatürde bulunan çeşitli sezgisel yöntemler uygulanabilir (Banarjee ve ark., 1992, Irohara ve Yamada, 2004, Kim ve Kim, 2000, Lacksonen, 1997, Langevin ve ark., 1994, Montreuil ve ark.,1993, Montreuil ve ark., 2004, Xie ve Sahinidis, 2008). Ayrıca yerleşkenin yanın da sezgisel paketleme algoritmaları da uygulanabilir (Crainic ve ark., 2007, Lodi ve ark., 2002). Bu tür NP-Zor modeller ve çözüm yöntemleri tesis yerleşimi konusunda yapılan çalışmalarda detaylı bir şekilde işlenirken, bu modeller üzerine kattığımız yeni yaklaşım "Görece Kısıtları" ve *gösterge (tesis) kümelerinin birbirlerine göre sırayla çözümünü içeren aşamalı yöntem* (Aşama II-Mekanik Sistem, Aşama III-Mekanik Sisteme göre tüm göstergeler) olmuştur.

Bu bölümde kümeleme algoritması ve aşamalı çözüm yöntemini detaylı bir şekilde açıklayacağız. Mevcut tesislerin oluşturduğu kümeler biliniyorsa *problem bu kümelere göre aşamalı bir şekilde çözülebilir*. Örneğin 30 tesisin yerleşeceği bir problemde 5 kümeyle; bölgeyle (İdari: 4 tesis, Üretim: 8 tesis, Arıtma: 7 tesis, Depolama: 6 tesis, Bakım: 5 tesis) ilişkili tesisler olsun. Bu 30 tesis için problemi çözmek 5 (küme) aşamada tesisler birbirlerine göre; biri sabit alınırken diğeri ilgili alana yerleşecek şekilde problem daha hızlı bir şekilde çözülebilir. Çözümü iyileştirmek için aşama sayısı (küme sayısı x 2 , 3...) artırılabilir. Bu kümelerin bilinmediği durumda hangi elemanın hangi kümeye nasıl bir yöntemle atanacağı ve STYP'nin nasıl çözüleceği konusu

karşımıza çıkmaktadır. *Eleman sayısı fazla olan STYP'nin çözümü için "Kümeleme Yöntemi ile Aşamalı Çözüm Yaklaşımını" geliştirdik. Bilinmeyen sayısı fazla olan orjinal problemi çözmek yerine, kümeleme algortimalarıyla bilinmeyen sayısının daha az olduğu problemler oluşturularak aşamalı şekilde çözülür.* Kümeleme (clustering) için geliştirdiğimiz çok çeşitli modeller arasından en iyi sonucu verdiğini gördüğümüz aşağıdaki modelin kullanılmasını önermekteyiz.

*Kümeleme Modeli:*

$$\text{Max } Z = \sum_c^C \sum_i^N \sum_{\substack{j \\ i \neq j}}^N x_{ic} x_{jc} w_{ij}$$

s.t.

$$\sum_{c=1}^C x_{ic} = 1 \quad i = 1 \dots N$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ic} \geq 1 \quad c = 1 \dots C$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ic} \leq K \quad c = 1 \dots C$$

$$x_{ic} \in 0 - 1 \quad i = 1 \dots N, \quad c = 1 \dots C$$

Önerdiğimiz modelde  $w_{ij}$ ,  $i$  ve  $j$  elemanları arasındaki ağırlık değeri (taşıma maliyeti, ergonomik faktör vb.) olmak üzere,  $i$  elemanı (tesisi)  $c$  kümesine yerleştirilirse  $x_{ic}=1$ ; diğer durumda 0 ve  $j$  ( $i \neq j$ ) elemanı (tesisi)  $c$  kümesine yerleştirilirse  $x_{jc}=1$ ; diğer durumda 0'dır. Burada  $w_{ij}$  ağırlıklarına göre birbirleriye en ilişkili olan  $i$  ve  $j$  elemanlarını aynı kümeye atamak için amaç fonksiyonu maksimizasyon şeklinde tanımlanmıştır. Tanımlanacak kısıtlar ile kümelerde ortak eleman bulunabilir ya da bulunmayabilir. Kümeleme modelinde tanımlanan ilk kısıt ile bir elemanın sadece tek bir kümede

bulunması sağlanmıştır. İkinci ve üçüncü kısıtlar ile her bir kümedeki eleman sayısının  $K$ 'dan küçük olması sağlanır.

Kümeleme Yöntemi ile Aşamalı Çözüm Yaklaşımının uygulamasını 5 elemanlı bir problem (T5) üzerinde bir örnekle açıklayalım. Öncelikle ortak eleman bulunmayan (mutually exclusive) kümeler kümeleme modelinin çözümüyle elde edilsin. Daha sonra Aşamalı Çözüm Yaklaşımı ile bu kümeler sırayla çözülür. Örneğin

$N_{s,r}$ :  $s$  kümesinde bulunan ve  $r$ . aşamada çözülen problem seti;  
 $r$ :  $1 \dots R$ ,  $R$  toplam aşama sayısı ve  $s \in S$ ,  $S$  tüm kümeleri içeren setdir.

Aşamalı çözümde her aşamada STYP çözülür ve  $N_{s,r}$ 'deki elemanların yerleri  $(x_i, y_i)$  belirlenerek; bir sonraki aşamaya geçilir. Önceki aşamada bulunan koordinat değerleri sonraki aşama için birer kısıttır. T5 probleminde  $N = \{1,2,3,4,5\}$  olmak üzere, 5 elemanı iki kümeye ( $C=2$ ) kümeleme modeliyle atayalım. Sonuçta elde edilen küme  $N_1 = \{1,2,4\}$  ve  $N_2 = \{3,5\}$  olsun. Aşamalı çözüm yöntemiyle

$$N_{1,1} \longrightarrow N_{2,1} \longrightarrow N_{1,2} \longrightarrow N_{2,2} \dots \dots \dots N_{1,R} \longrightarrow N_{2,R}$$

şeklinde çözülür.

1.Aşamada;

$N_{1,1} = \{1,2,4\}$  kümesi için STYP problemi çözülür, elemanlar yerleştirilir ve koordinatları  $(x_1, y_1, x_2, y_2, x_4, y_4)$  sabitlenir.

$N_{2,1} = \{3,5\}$  için problemi modellenirken  $N_{1,1} = \{1,2,4\}$  kümesindeki elemanların önceki çözümde bulunan koordinatları birer kısıttır.  $N_{2,1} = \{3,5\}$  modeli için STYP çözülerek koordinatlar  $(x_3, y_3, x_5, y_5)$  bulunur ve koordinatlar sabitlenir.

## 2.Aşamada;

$N_{1,2} = \{1,2,4\}$  kümesinde elemanlar için STYP tekrar çözülür. Bir önceki aşamada  $N_{2,1} = \{3,5\}$  kümesi için bulunan koordinatlar bu aşama için kısıttır.  $N_{2,2} = \{3,5\}$  kümesi için STYP tekrar çözülür.  $N_{1,2} = \{1,2,4\}$  kümesinde elemanların koordinatları dikkate alınarak  $N_{2,1} = \{3,5\}$  için koordinatlar bulunur ve koordinatları sabitlenir.

## R. Aşamada;

Bir önceki adımda bulunan sonuçlar bir sonraki için girdi; kısıt olacak şekilde aşama sayısı (R) kadar problem tekrar çözülür.

Kümeleme Yöntemi ile Aşamalı Çözüm Yaklaşımı literatürde bulunan; en ve boyları uzunlukları birbirinden farklı elemanlardan oluşan, çok çeşitli ağırlık matrislerine sahip ve eleman sayısı 5-12 arasında değişen T5, T6, T7, T8, T9, T10, PA1, OZ3 ve YA2 vb. STYP test problemleri üzerinde test edildi.

Çizelge 6.6. Sonuçların karşılaştırması

Problem	MIP 1		MIP 2		MIP 3		B&B		Önerilen Yöntem	
	Z	CPU(s)	Z	CPU(s)	Z	CPU(s)	Z	CPU(s)	Z	CPU(s)
<b>T5</b>	256	0.32	256	1.18	256	0.59	256	0.08	<b>256</b>	1.25
<b>T6</b>	461	7.39	461	52.89	461	56.15	461	0.65	<b>461</b>	4.7
<b>T7</b>	794	551.51	794	>6000	794	5829	794	14.6	800	14.23
<b>T8</b>	1710	3558	1710	>6000	1710	>6000	1710	56.78	<b>1710</b>	106.5
<b>T9</b>	2596	>6000	2596	>6000	2596	>6000	2594	637.22	<b>2594</b>	<b>45.63</b>
<b>T10</b>	3617	>6000	3707	>6000	3634	>6000	3617	>6000	3706	<b>174</b>
<b>PA1</b>	9948.03	7.42	9948.03	>6000	9948.03	16.38	9948.03	3.81	<b>9948.03</b>	<b>2.13</b>
<b>OZ3</b>	520.25	5179	528	>6000	523	>6000	520.25	565	<b>520.25</b>	<b>169.92</b>
<b>YA2</b>	6492	>6000	6499	>6000	6627	>6000	6319	>6000	6515	<b>100.26</b>

Önerilen yöntemin sonuçları aynı problemleri çözmüş olan diğer çalışmalardaki yöntemlerin sonuçları ile karşılaştırıldı (MIP1-Papageorgiou ve Rotstein, 1998, MIP2-Özyurt ve Realff, 1999, MIP3-Yang ve Peters, 1998, B&B-Xie ve Sahinidis, 2008). Yapılan testlerde ya optimum sonuca ulaşıncaya ya da  $R_{max}=20$  aşamaya kadar problem önerilen sezgisel yöntem ile çözülmüştür. Sezgisel yöntemin çözüm zaman değeri (CPU) ise kümeleme modelinin çözüm zamanı ile aşamalı çözüm zamanlarının toplamıdır.

Önerdiğimiz yöntemin sonuçları MIP1, MIP2 ve MIP3 sonuçlarından çok daha iyidir. Literatürde şu ana kadar bu problemler için *en iyi sonuçları elde etmiş olan B&B* (Xie ve Sahinidis, 2008) yönteminin sonuçlarıyla karşılaştırıldığında çoğunlukla optimum sonuca (T5, T6, T8, T9, PA1, OZ3) ulaştığı ya da en iyi çözümden T7; 0.0075, T10; 0.02, YA2; 0.03, çok az miktarda sapmalar olduğu görülmektedir.

*Ancak çözüm zamanları açısından geliştirdiğimiz yöntem hem kümeleme modelinin çözüm zamanı hem de aşamalı çözümlerin zamanlarının toplamını içermesine rağmen çok daha iyidir. Özellikle eleman sayısının fazla olduğu T9, T10, PA1, OZ3 ve YA2 gibi problemlerde çözüm süremiz kıyaslanamayacak derecede iyidir. Örneğin B&B algoritması YA2 ve T10 problemlerinin her ikisinde de 6000 CPU süresinde sonlanırken, önerdiğimiz sezgisel yöntem 100.26 ve 174 CPU süresinde sonuca ulaşmıştır. Yine aynı şekilde OZ3 problemi için B&B algoritması 565 CPU süresinde sonlanırken önerdiğimiz sezgisel yöntem 169.92 CPU süresinde sonuca ulaşmıştır. Yöntemimiz özellikle eleman sayısı fazla olan STYP çözümünde çözüm süresi ve etkinliği açısından baskındır, çözüm süresi diğer yöntemlerle kıyaslanamayacak derecede kısadır.*

## 7. SONUÇ ve ÖNERİLER

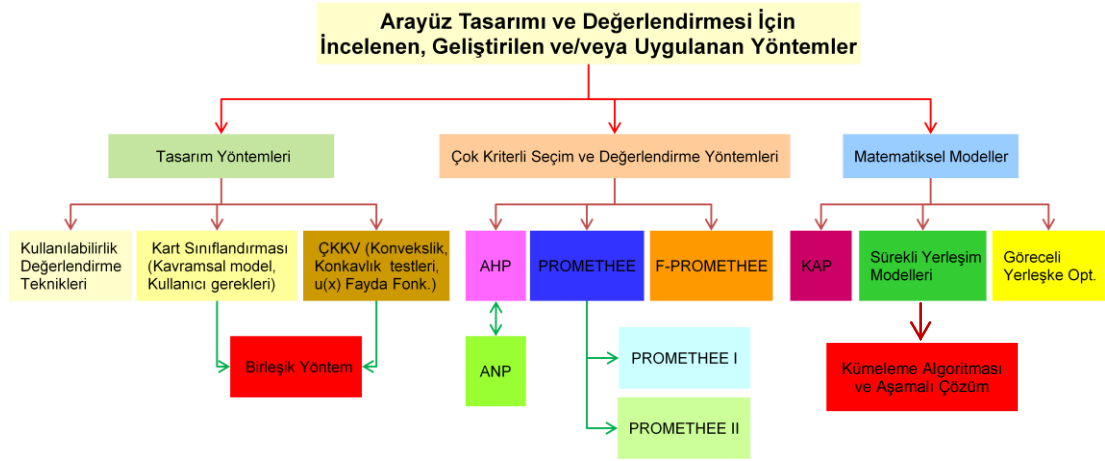
Çağımızda bilgi teknolojileri ve yazılım alanındaki gelişmeler bilginin analizi, yönetimi ve sunumu konusunda pek çok avantaj sağlamaktadır. Ayrıca malzeme bilimindeki ilerlemeler ve nanoteknoloji ile birlikte insanoğlunun istediği malzemeyi tasarlama ve üretme imkânı daha da artmıştır. Bu gelişmeler tasarımcılara daha önce hiç olmadığı kadar esnek olma imkânı tanımaktadır.

1. *Tasarımcı tarafından büyük bir avantaj olarak görülen bu esneklik kullanıcı boyutunun göz ardı edilmesine ve insan-makine etkileşiminin daha karmaşık bir hale dönüşmesine neden olmaktadır.*
2. *Unutulmaması gereken en önemli nokta ise tasarlanan her sistemin insanlar için tasarlandığı ve insanlar tarafından kullanılacağıdır.*

Tasarlanan her sistem (Makine, robot, nükleer santral, insanlı-insansız hava veya yer araçları) ve yazılan her program ile kullanıcı arasındaki diyalog bir arayüz ile sağlanır. Arayüzlerde çeşitli formlarda olan birçok ünite (kadran, analog gösterge, ekran, grafik, rakam, çok fonksiyonlu dijital gösterge üniteleri) kullanıcıya sistem hakkında çeşitli verileri sunar. Sistemdeki çeşitli cihazların entegrasyonu genellikle tasarımın son aşamasına bırakılmaktadır. Bu aşamada tespit edilecek tasarım hatalarını düzeltmek için değişiklik yapma imkânı uzayan proje süreleri, karşılaşılabilecek yüksek maliyetler vb. nedenlerle bulunmamaktadır. Bu durum fonksiyonel olmayan arayüzlere neden olmakta operatörün yükünü ve hata yapabilme riskini artırmaktadır. Yetersiz arayüz tasarımlarından kaynaklanan yanlış algılamalarının yıkıcı sonuçları olabilir.

1. *Arayüz tasarımları algılayıcı birimlerdeki gelişmelere paralel olarak gittikçe daha da karmaşıklaşmıştır.*
2. *Yeni tasarımlar kullanıcı üzerinde daha önce hiç olmadığı kadar zihinsel yüke neden olmaktadır.*

İnsan-sistem etkileşimindeki insan hataları ancak kullanıcı-dostu bir arayüz tasarımıyla önlenir. Böyle bir konu literatürde arayüz tasarımı ve insan faktörü kapsamında incelenen ancak çeşitli analitik yöntemlerle de ele alınması gereken bir problemdir. Bu tezde arayüz tasarımı konusu çok yönlü olarak ele alındı. Doktora çalışmamızda uygulanan yöntemlerin özet şeması Şekil 7.1.'de sunulmuştur. Sonuçta hava araçları için “Nitel, Nicel, Birleşik ve Göreceli” tasarımlar elde edildi. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.



Şekil 7.1. Arayüz tasarım yöntemleri

### Tasarım Yöntemleri

Sonuçlar arasındaki farkların üç nedeni vardır:

1. ÇKKV'deki görülebilirlik puanlarının birbirine çok yakın olması,
2. Hava araçlarındaki mevcut panelin KS denekleri ve göstergelerin yerleşimine yönelik lokasyon tercihleri üzerindeki alışkanlık etkisi,
3. KV'nin bireysel değerlendirmelerinin LP modeli üzerinde etkileri.



Mevcut helikopter kokpitine en fazla benzeyenin birleşik tasarım (B.O.=0.737) ve birleşik tasarıma en fazla benzeyenin Nitel tasarım (B.O.=0.842) olduğu görülmüştür. Benzerliklerin iki temel nedeni:

1. *“Alışkanlık etkisi”;* hava araçlarındaki mevcut panelinin deneklerin göstergelerin yerleşimine yönelik lokasyon tercihleri üzerindeki etkisi
2. *Motor göstergeleri memnuniyet puanı KS yaklaşımında daha yüksektir. Genelde KS yaklaşımında bulunan bu göstergelere ait konumlar birleşik tasarıma aktarılmıştır.*

N1, EGT, Tork-metre, Dual Takometre ve Pusula'nın birleşik tasarımdaki (Şekil 4.5.) yerleri ise mevcut helikopter panelinden farklı bulunmuştur.

1. *Yeni tasarımlarda N1, EGT, Tork-metre, Dual Takometre ve Pusula'nın konumlarına özellikle dikkat edilmelidir.*
2. *Yeni tasarımlarda analog göstergeler yerine dijital göstergeler tercih edilebilir. Ancak analog göstergeler dijital göstergelerle birlikte dijital göstergelerin yedekleri olarak ya da hava araçlarının modernizasyonunda kullanılmaya devam etmektedir.*

#### *Çok Kriterli Seçim ve Değerlendirme Yöntemleri*

Bir sistemin kullanılabilirlik değerlendirmesinde çeşitli güçlükler vardır:

1. *Birbirleriyle çelişen çok çeşitli kullanılabilirlik kriteri karşılaştırılmasına rağmen, literatürde sunulan kullanılabilirlik değerlendirme yöntemleri genellikle analitik esaslara dayanmamaktadır.*
2. *Bu tekniklerin öznel kararlar içermesi sebebi ile uygulama ve değerlendirmelerde yanlış sonuçlara ulaşılma ihtimali vardır.*
3. *Bu nedenle ANP ve F-PROMETHEE yaklaşımı objektif bir yöntem olarak geliştirilmiş ve kullanılabilirlik değerlendirmesinde nasıl uygulanabileceği gösterilmiştir.*

4. Değerlendirmelerdeki öznellik ve belirsizlik dilsel değerlendirme değişkenleri “bulanık sayılar” ile giderilmiştir.

Kullanıcı memnuniyet kriterlerine göre Nitel ve Nicel yaklaşım sonuçlarının birleştirilmesiyle elde edilen “Birleşik Tasarım”ın daha kullanıcı-dostudur.

1. ANP ve F-PROMETHEE sonuçları bu teorimizi desteklemektedir,
2. çünkü; Birleşik Arayüz Tasarımı ilk sıradadır ve sıralama (1) Birleşik, (2) Nicel, (3) Nitel arayüz tasarımı şeklindedir.

Kokpit içerisinde insani faktörlerden kaynaklanan hataların önlenmesi için önerdiğimiz birleşik arayüz tasarım yöntemi bu konuda tasarım ve üretim yapan tüm işletmeler tarafından dikkate alınmalıdır.

1. Önerdiğimiz yaklaşım son derece pratik olup havacılık endüstrisinde arayüz tasarımı konularında (dijital, analog vb.) hızlı ve etkin bir şekilde kullanılabilir.
2. ANP ve F-PROMETHEE yaklaşımı en basit yapıya olana kadar: gösterge, web-sayfası, kokpitler, nükleer reaktörlerdeki kontrol istasyonları vb. arayüzlerin kullanılabilirlik değerlendirilmesinde uygulanabilir.
3. Bu yöntem kullanılabilirlik değerlendirmesi yanında çeşitli ekipman ve sistemlerin ergonomik değerlendirmesinde de kullanılabilir:
4. Sadece kullanıcılarla yapılan ergonomik değerlendirmeler yerine önerdiğimiz yaklaşımın daha faydalı olacağını düşünmekteyiz.

#### *Matematiksel Modeller*

Tesis yerleşiminde taşınacak malzemelere, mesafeye vb göre akış değeri, bir maliyet unsuru ve bu maliyetin minimizasyonu söz konusu iken, pek çok yerleşke tasarımında böyle bir maliyet yoktur. Bunun yerine;

1. *Ergonomik koşullar ve kullanılabilirlik gerekleri,*
2. *Cihazların çalışma şartları, sıcaklık, titreşim, vb.,*
3. *Cihazların birbirleriye bağlantıları, mekanik, elektriksel vb.,*
4. *İnsani ya da mühendislik açısından diğer etmenler vardır.*

Bu nedenlerle burada önerdiğimiz göreceli yaklaşım ile bu tür yerleşke optimizasyon problemleri gerçekçi bir şekilde modellenebilir. Bu model iki ya da üç boyutlu göreceli çeşitli tasarımlarda da (araba motoru, elektrik devresi, çip vb.) uygulanabilir.

1. *Görece kısıtları çözüm uzayının daraltılmasında adeta tam sayılı programlamadaki “kesme kısıtı” gibi hareket etmektedir.*
2. *Hem optimum çözüme ulaşılması hemde çözüm zamanının kısalığı “görece kısıtlarının” etkinliğini ortaya koymuştur.*

Ancak yine de yerleştirilecek eleman sayısını fazla olması, problemin yapısı (NP-Zor) vb. nedenlerle optimum çözüm bulunamayabilir. Daha öncede açıklandığı üzere görece kısıtlarının çözüm süresini yeterince kısaltmaması ya da optimum çözüme ulaşılamaması durumunda yerleşke problemlerinin çözümü için literatürde bulunan çeşitli sezgisel yöntemler ya da geliştirdiğimiz “Kümeleme Algoritması ve Aşamalı Çözüm Yöntemi” uygulanabilir. NP-Zor modeller ve çözüm yöntemleri tesis yerleşimi konusunda yapılan çalışmalarda detaylı bir şekilde işlenirken bu modeller üzerine kattığımız:

1. *“Görece Kısıtları” ve gösterge (tesis) kümelerinin birbirlerine göre sırayla çözümünü içeren aşamalı yöntemdir.*
2. *Sadece akış değerlerini modelde dikkate almak yerine; elemanların birbirlerinden etkileşimleri nedeniyle muhtemel konumları (görece) hakkında bilgi sahibi isek, yerleşke optimizasyonu, tesis yerleşimi, sırt çantası, iki, üç boyutlu paketleme problemleri bu yöntemle daha doğru ve hızlı bir şekilde çözülebilir.*

*3. Tesislerin oluşturduğu gruplar, kümeler biliniyorsa problem bu kümelere göre aşamalı bir şekilde çözülür, bilinmiyorsa kümeleme (clustering) algortimaları kullanılır.*

Bu tezde görece kısıtları oluşturulurken arayüz tasarımına yönelik durumu inceledik ancak tesis yerleşimine, diğer tasarımlara (araba motoru, elektrik devresi, çip vb.) ve iki, üç boyutlu paketlemeye yönelik yapılacak çalışmalar ayrı bir araştırma konusudur. Pilotaj yüksek dikkat gerektirir; çok çeşitli göstergeler izlenirken uçuş kritik konularda önemli kararlar alınmaktadır. Sistemin bütünü yerine, sadece belirli göstergelerdeki iyileştirme-geliştirmeler kullanılabilirliği istenilen seviyede artırmamaktadır. Kaza nedenleri incelendiğinde insani faktörlerin ön planda olduğu görülmektedir. Bu nedenle göstergeleri münferiden geliştirerek daha kullanılabilir hale getirmenin yanında, göstergelerin tamamının birbirleri ile entegrasyonu ile oluşturulacak gösterge paneli kullanıcı dostu olmalıdır.

Arayüz tasarım literatüründeki yaklaşımlar yetersizdir. Bu yaklaşımlar tasarımda tek bir kriteri, kısıtı göz önünde tutmakta, tek bir göstergenin tasarlanmasına ya da tasarlanmış sistemlerin kullanılabilirliğinin değerlendirilmesine odaklanmakta verilerin birbiriyle etkileşimini ve sistem bütünlüğünü göz ardı etmektedir.

*Çalışmamızda önerdiğimiz yöntemler ise kullanıcıya veri sağlayan her bir ünite arayüzü ve bu ünitelerin bir araya gelmesiyle ortaya çıkan sistem arayüzü tasarımlarının bütünleşik bir şekilde yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu sayede karmaşık gösterge düzenlerinden, dizilimlerinden kurtulanabilir. Öznele değerlendirmelere dayanan literatürdeki kullanılabilirlik değerlendirme ve tasarım yöntemlerinin aksine, önerdiğimiz yöntemlerle tasarımda subjektiflikten uzaklaşarak daha nesnel sonuçlar elde edilebilir, çünkü geliştirip uyguladığımız tüm yöntemler analitik esaslara dayanmaktadır.*

## KAYNAKLAR

1. Albadvi, A., "Formulating national information technology strategies: A preference ranking model using PROMETHEE method", *Eur. J. Oper. Res.*, 153: 290–296 (2004).
2. Albadvi, A., Chaharsooghi, S.K. and Esfahanipour, A., "Decision making in stock trading: An application of PROMETHEE", *Eur. J. Oper. Res.*, 177: 673–683 (2007).
3. Aras, H., Erdogmus, S. and Koc, E., "Multi-criteria selection for a wind observation station location using analytic hierarchy process", *Renew. Energ.*, 29: 1383-1392 (2004).
4. Badri, M. A., "Combining the AHP and GP for global facility location-allocation problem", *Int. J. of Prod. Econ.*, 62(3): 237-248 (1999).
5. Badri, M. A., "A combined AHP–GP model for quality control systems", *Int. J. Prod. Econ.*, 72(1): 27-40 (2001).
6. Balakrishnan, J. and Cheng, C. H., "Dynamic layout algorithms: A state-of the art survey", *Omega, Int. J. Manag. Sci.*, 26 (4): 507–521 (1998).
7. Ballı, S., Karasulu, B. ve Korukoğlu, S., "En uygun otomobil seçimi problemi için bir bulanık PROMETHEE yöntemi uygulaması", *D.E.Ü.İ.B.F. Dergisi*, 22 (1): 139-147 (2007).
8. Banerjee, P., Montreuil, B., Moodie, C. L. and Kashyap, R. L. "A modeling of interactive facility layout designer reasoning using qualitative patterns", *Int. J. Prod. Res.*, 30 (3): 433–453 (1992).
9. Baourakis, G., Doumpos, M., Kalogeras, N. and Zopounidis, C., "Multicriteria analysis and assessment of financial viability of agribusinesses: The case of marketing co-operatives and juice-producing companies", *Agribusiness*, 18 (4): 543–558 (2002).
10. Bazarra, M. S., "Computerized layout design: A branch and bound approach", *AIIE Transactions*, 7 (4): 432–437(1975).
11. Beghin-Picavet, M. and Hansen, P., "Deux probl`em d'affectation non lin`aires", *RAIRO Recherche Oper.*, 16 (3): 263–276 (1982).
12. Benel R., "Workstation and software interface design in air traffic control", Human factors in air traffic control, Smolensky, M. and Stein, E.(Eds.), San Diego, CA., Academic, 341–390 (1998).

13. Benjaafar, S., Heragu, S. S. and Irani, S. A., "Next generation factory layouts: Research challenges and recent progress", *Interfaces*, 32(6): 58–76 (2002).
14. Bilsel, R., U., Büyüközkan, G. and Ruan, D., "A fuzzy preference-ranking model for a quality evaluation of hospital web sites", *Int. J. Intell. Syst.*, 21: 1181-1197 (2006).
15. Boran, S. and Göztepe, K., "Development of a fuzzy decision support system for commodity acquisition using fuzzy analytic network process", *Expert Syst. Appl.*, 37: 939-1945 (2010).
16. Bowen, W.M., "Subjective judgements and data envelopment analysis in site selection", *Comp. Environ. Urb. Syst.*, 14(2): 133-144 (1990).
17. Bozdağ, C.E., Kahraman, C. and Ruan, D., "Fuzzy group decision making for selection among computer integrated manufacturing systems", *Comp. Ind.*, 51(1): 13-29 (2003).
18. Brans, J. P. and Vincke, P. H., "A preference ranking organization method", *Manag. Sci.*, 31: 647-656 (1985).
19. Brans, J. P., Vincke, P. H. and Mareschall, B., "How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method", *Eur. J. Oper. Res.*, 14, 228-238 (1986).
20. Brans, J. P. and Mareschall, B., "The PROMCALC & GAIA decision support system for multi-criteria decision aid", *Dec. Sup. Syst.*, 12: 297-310 (1994).
21. Briggs, Th., Kunsch, P.L. and Mareschal, B., "Nuclear waste management: An application of the multicriteria PROMETHEE methods", *Eur. J. Oper. Res.*, 44: 110 (1990).
22. Büyüközkan, G., Ertay, T., Kahraman, C. and Ruan, D., "Determining the importance weights for the design requirements in the house of quality using the fuzzy analytic network approach", *Int. J. Intell. Syst.*, 19: 443-461 (2004).
23. Chang, D., "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP", *Eur. J. Oper. Res.*, 95(3): 649-655 (1996).
24. Chou, W. C., Lin, W. T. and Lin, C. Y., "Application of fuzzy theory and PROMETHEE technique to evaluate suitable ecotechnology method: a case study in Shihmen Reservoir Watershed, Taiwan", *Ecol. Eng.*, 31: 269–280 (2007).

25. Clamann, M. and Kaber, D.B., "Applicability of usability evaluation techniques to aviation systems", *Int. J. Aviat. Psycholo.*, 14(4): 395-420 (2004).
26. Crainic, T.G., Perboli, G. and Tadei, R., "Extreme Point Based Heuristics for Three Dimensional Bin Packing", *CIRREL-T-2007-41*, (2007).
27. Dağdeviren, M. ve Eren, T., "Tedarikçi firma seçiminde AHP ve 0-1 HP yöntemlerinin kullanılması", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 16(2): 41-52 (2001).
28. Dağdeviren, M., Akay, D., Çetinyokus, T. ve Kurt, M., "Bulanık matematiksel programlama tekniği ile bir iş değerlendirme uygulaması", *Teknoloji Z.K.Ü. Karabük Tek.Eğt.Fak. Dergisi*, 5(1-2): 91-96 (2002).
29. Dağdeviren, M., "Decision making in equipment selection: an integrated approach with AHP and PROMETHEE", *J. Intell. Manuf.*, 19: 397-406 (2008).
30. D'Avignon, G. and Mareschal, B., "An application of the PROMETHEE and GAIA methods", *Math. Comp. Model.*, 12 (10-11): 1393-1400 (1989).
31. DeSanctis G., "Computer graphics as decision aids: Directions for research". *Dec.Sci.*, 15: 463-487 (1984).
32. DuBois, D. and Prade, H., "Operations on fuzzy numbers", *Int. J. Syst Sci*, 9:613- 626 (1978).
33. DuBois, Ph. and Brans, J.P., Cantraine, F. and Mareschal, B., "MEDICIS: An expert system for computer-aided diagnosis using the PROMETHEE multicriteria method", *Eur. J. Oper. Res.*, 39: 284-292 (1989).
34. Duman, E., Or, I. "The quadratic assignment problem in the context of the printed circuit board assembly process", *Comp. Oper.Res.*, 34:163-179 (2007).
35. Duncan J., "Selective attention ve the organization of visual information", *J. Exp. Psycholo. General*, 113: 501-517 (1984).
36. Ehie, I.C. and Benjamin, C.O., "An integrated multiobjective planning model: A case study of the Zambian copper mining industry", *Eur. J. Oper. Res.*, 68(2): 160-172 (1993).
37. Eriksen, C.W. and Yeh, Y., "Allocation of attention in the visual field". *J. Exp. Psycholo. Hum. Perception Perf.*, 11: 583-597 (1985).

38. Evans, G.W. and Pezdek, K., "Cognitive mapping: knowledge of real-world distance and location information", *J. Exp. Psychol. Hum. Learning Mem.*, 6: 13-24 (1980).
39. Fitts P.M. and Jones R.E., "Psychological aspects of instrument display: Analysis of 270 "pilot-error" experiences in reading and interpreting aircraft instruments", *Wright-Patterson Air Force Base Memo. Rep. No. TSEAA-694-12A., OH., Air Materiel Command*, (1947).
40. Funk, K., Suroteguh, C., Wilson, J., and Lyall, B., "Flight deck automation and task management", *Proceedings of 1998 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, San Diego, 1: 863–868 (1998).
41. Gatti S.V. and Egeth H.E., "Failure of spatial selectivity in vision", *Bulletin of the Psychonomic Society*, 11: 181-184 (1978).
42. Geldermann, J., Spengler, T. and Rentz, O., "Fuzzy outranking for environmental assessment, case study: Iron and steel making industry", *Fuzzy Set Syst.*, 115: 45– 65 (2000).
43. Gould J., Boies S. and Ukelson J., "How to design usable systems?" in M. Helveer, T. (1997).
44. Goumas, M. and Lygerou, V., "An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects", *Eur. J. Oper. Res.*, 123: 606-613 (2000).
45. Hyde, K., Maier, H. and Colby, C., "Incorporating uncertainty in the PROMETHEE MCDA method", *J. Mul. Cri. Dec. Analy.*, 12: 245–259 (2003).
46. Iniestra, J. G. and Gutiérrez, J.G., "Multicriteria decisions on interdependent infrastructure transportation projects using an evolutionary-based framework", *Appl. Soft Comp.*, 9: 512–52 (2009).
47. Irohara, T. and Yamada, T., "Location matrix based design methodology for the facility layout problem including aisles and door locations", *Proceedings of the 8th International Material Handling Colloquium*, 155–182 (2004).
48. Jayakumar, S. and Reklaitis, G. V., "Chemical plant layout via graph partitioning-I. Single level", *Comp. Chem. Eng.*, 18: 441–458 (1994).
49. Jayakumar, S. and Reklaitis, G. V., "Chemical plant layout via graph partitioning—II. Multiple levels", *Comp. Chem. Eng.*, 20: 563–578 (1996).



50. Jeroslow, R. G., "Logic based decision support: Mixed integer model formulation", **North-Holland**, New York, (1989).
51. Johnson, M.P., "Spatial decision support for assisted housing mobility counseling", **Dec. Sup. Syst.**, 41: 296–312 (2005).
52. Johnson SI. and Roscoe SN., "What moves, the airplane or the world?", **Hum. Fact.**, 14: 107-129 (1972).
53. Kaber D., Riley J. and Tan K.W., "Improved usability of aviation automation through direct manipulation and graphical user interface design", **Int. J. Aviat. Psycholo.**, 12: 153–180 (2002).
54. Kahraman, C., Ruan, D. and Doğan, I., "Fuzzy group decision-making for facility location selection", **Inf. Sci.**, 157: 135-153 (2003).
55. Kahraman, C., Cebeci, U. and Ruan, D., "Multi- attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP: the case of Turkey", **Int. J. Prod. Econ.**, 87: 171-184 (2004).
56. Kim, P.P, Lee, K.J. and Lee, B.W., "Selection of an optimal nuclear fuel cycle scenario by goal programming and the analytic hierarchy process", **Ann. of Nucl. Energy**, 26: 449-460 (1999).
57. Kim, J. G. and Kim, Y. D., "Layout planning for facilities with fixed shapes and input and output points", **Int. J. Prod. Res.**, 38(18): 4635–4653 (2000).
58. Koopmans, T. C. and Beckman, M., "Assignment problems and the location of economic activities", **Econometrica**, 25: 53–76 (1957).
59. Korhonen, P., Wallenius, J. and Zionts, S., "Solving the discrete multiple criteria problem using convex cones", **Manag. Sci.**, 30: 1336-1345 (1984).
60. Köksalan, M., "Identifying and ranking most preferred subset of alternatives in the presence of multiple criteria", **Naval Res. Logist.**, 36: 359-372 (1989).
61. Köksalan, M., Karwan, M. H. and Zionts, S., "An improved method for solving multiple criteria problems involving discrete alternatives", **IEEE Trans. Syst. Man Cyber.**, SMC-14: 24-34 (1984).
62. Köksalan M. and Sagala P.N., "An approach to ve computational results on testing the form of a decision maker's utility function", **J. Mul. Cri. Dec. Analy.**, 4: 189-202 (1995).

63. Köksalan, M. and Taner, O. V., "An approach for finding the most preferred alternative in the presence of multiple criteria", *Eur. J. Oper. Res.*, 60: 52-60 (1992).
64. Köksalan M. and Ulu C., "An alternative approach for placing alternatives in preference classes", *Eur. J. Oper. Res.*, 144: 429-439 (2003)
65. Kulak, O., Durmusoglu, M. B. and Kahraman, C., "Fuzzy multiattribute equipment selection based on information axiom", *J. Mater. Proc. Tech.*, 169:337–345 (2005).
66. Kulak, O. and Kahraman, C., "Fuzzy multi-attribute selection among transportation companies using axiomatic design and AHP", *Inf. Sci.*, 170: 191-210 (2005).
67. Kuo, R. J., Chi, S. C. and Kao, S. S., "A decision support system for locating convenience store through Fuzzy AHP", *Comp. Ind. Eng.*, 37(1-2): 323-326 (1999).
68. Laberge D., Carlson R.L., Williams JK. and Bunney BG., "Shifting attention in visual space: Tests of moving-spotlight models versus an activity-distribution model", *J. Exp. Psychol. Hum. Perception Perf.*, 23: 1380-1392 (1997).
69. Lacksonen, T. A., "Preprocessing for static and dynamic facility layout problems", *Int. J. Prod. Res.*, 35(4): 1095–1106 (1997).
70. Langevin, A., Montreuil, B. and Riopel, D., "Spine layout design", *Int. J. Prod. Res.*, 32(2): 429–442(1994).
71. Lee, H., Lee, S., Park, Y., "Selection of technology acquisition mode using the analytic network process", *Math. Comp. Model.*, 49: 1274-1282 (2009).
72. Le Téo, J., F. and Mareschal, B., "An interval version of PROMETHEE for the comparison of building products' design with ill-defined data on environmental quality", *Eur. J. Oper. Res.*, 109: 522–529 (1998).
73. Leung, L. C. and Cao, D., "On consistency and ranking of alternatives in fuzzy AHP", *Eur. J. Oper. Res.*, 124(1): 102- 113 (2000).
74. Lodi, A., Martello, S. and Monaco, M. "Two Dimensional Packing Problems: A Survey", *Eur. J. Oper. Res.*, 141: 241-252 (2002).
75. Lodi, A., Martello, S. and Vigo, D., "Recent advances on Two Dimensional Bin Packing Problems", *Discrete Appl. Math.*, 123: 379-396 (2002).

76. Malakooti, B., "Theories and an exact interactive paired-comparison approach for discrete multiple-criteria problems", *IEEE Trans. Syst., Man Cyber.*, SMC-19, 365-378 (1989a).
77. Malakooti, B., "Ranking multiple criteria alternatives with half-space, convex, and non-convex dominating cones: quasi-concave and quasi-convex multiple attribute utility functions", *Comp. Oper. Res.*, 16; 117-127 (1989b).
78. Meller, R. D., Narayanan, V. and Vance, P. H., "Optimal facility layout design", *Oper. Res. Let.*, 23: 117-127 (1998).
79. Mohamadabadi, H., S., Tichkowsky, G. and Kumar, A., "Development of a multicriteria assesment model for ranking of renewable and non-renewable transportation fuel vehicles", *Energ.*, 34: 112-125 (2009).
80. Mon, D., Cheng, C. and Lin, J., "Evaluating weapon system using fuzzy AHP based on entropy weight", *Fuzzy Set. Syst.*, 62(2): 127-134 (1994).
81. Montreuil, B., "A modelling framework for integrating layout design and flow network design", In: J. A. White and I.W. Pence (Eds.), *Progress in material handling and logistics*, Springer-Verlag, 95-116 (1991).
82. Montreuil, B., Ouazzani, N., Brotherton, E. and Noureifath, M., "AntZone layout metaheuristics: Coupling zone-based layout optimization, and colony system and domain knowledge", *Proceedings of the 8th International Material Handling Research Colloquium*, 303-334 (2004).
83. Montreuil, B., Venkatadri, U. and Ratliff, H. D. "Generating a layout from a design skeleton", *IIE Transactions*, 25(1): 3-15 (1993).
84. Myint, S. and Tabucanon, M.T., "A multiple-criteria pproach to Machine Selection for fexible manufacturing systems", *Int. J. Prod. Econ.*, 33(1-3): 121-131 (1994).
85. Nawrocki, L.H., "Alphanumeric vs. graphic displays in a problem-solving task", *U.S. Army Behavior and Systems Research Laboratory. Tech. Research Note 227*, Arlington, (1972)
86. Newman, W. and Lamming, M., "Interactive system design", *Addison-Wesley*, Boston, (1995).
87. Olson, D.L., "Comparison of three multicriteria methods to predict known outcomes", *Eur. J. Oper. Res.*, 130 (3): 576-587 (2001).

88. Özyurt, D. B. and Realff, M. J. "Geographic and process information for chemical plant layout problems", *AIChE Journal*, 45(10): 2161–2174 (1999).
89. Papageorgiou, L. G. and Rotstein, G. E. "Continuous-domain mathematical models for optimal process plant layout", *Ind. & Eng. Chem. Res.*, 37, 3631–3639 (1998).
90. Penteado, F. D. and Ciric, A. R., "An minlp approach for safe process plant layout" *Ind. Eng. Chem. Res.*, 35: 1354–1361(1996).
91. Previc, F.H. and Ercoline, W.R., "The "outside-in" attitude display concept revisited. *Int. J. Aviat. Psycholo.*, 377-401 (2000).
92. Queiruga, D., Walther, G., Gonza'lez-Benito, J. and Spengler, T., "Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain", *Waste Manag.*, 28 (1): 181–190 (2008).
93. Ramanathan, R. and Ganesh, L. S., "Energy alternatives for lighting in households: An evaluation using an integrated GP-AHP Model", *Energ.*, 20(1): 63-72 (1995).
94. Ramanathan, R. and Ganesh, L. S., "Energy resource allocation incorporating qualitative and quantitative criteria: An integrated model using GP and AHP", *Socio-Econ. Plan. Sci.*, 29(3): 197-218 (1995).
95. Rekiek, B., de Lit, P. and Delchambre, A., "Hybrid assembly line design and user's preferences", *Int. J. Prod. Res.*, 40 (5): 1095–1111 (2002).
96. Rigney J.W. and Lutz K.A., "Effect of graphic analogies of concepts in chemistry on learning and attitude", *J. Educ. Psycho.*, 68: 305–311 (1976).
97. Robertson, J., "Information design using card sorting", Available at: <http://www.steptwo.com.au/papers/cardsorting> (2011).
98. Rosenblatt, M.J. "The dynamics of plant layout", *Manag. Sci.* 32 (I): 76-86, (1986).
99. Saaty, T., "The Analytic Hierarchy Process", Mc Graw Hill, USA, (1980).
100. Saaty, T.L. and Takizawa, M., "Dependence and independence: from linear hierarchies to nonlinear networks", *Eur. J. Oper. Res.*, 26: 229-237 (1986).
101. Saaty, T.L., "Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process," *RWS Publications*, Pittsburgh, (1996).

102. Saaty, T., "The Analytic Hierarchy Process for Decision Making", **Kobe**, Japan, (1999).
103. Saaty, T., "The analytic hierarchy and analytic network processes", **15<sup>th</sup> MCDM Int. Conf.**, Ankara, (2000).
104. Saaty, T., "Fundamentals of Decision Making and Priority Theory", **RWS Publications**, Pittsburgh, (2000).
105. Sahni, S. and Gonzalez, T., "P-complete approximation problem". **J. Assoc. Comp. Mach.**, 23(3): 555–565(1976).
106. Sarter, N., Woods, D. and Billings, C., "Automation Surprises", In: G. Salvendy (Ed.), *Handbook of human factors and ergonomics*, 2<sup>nd</sup> ed. **Wiley**, New York, 1926–1943 (1997).
107. Schniederjans, M. J. and Wilson, R.L., "Using the AHP and GP for information system project selection", **Inf. Manag.**, 20(5): 333-342 (1991).
108. Schniederjans, M.J. and Garvin, T., "Using the AHP and multi objective programming for the selection of cost drivers in activity-based costing", **Eur. J. Oper. Res.**, 100(1): 72-80 (1997).
109. Sexton, G.A., "Cockpit-Crew Systems Design ve Integration", In: E. Wiener, and D. Nagel (Eds.), *Human factors in aviation*, **CA: Academic**, San Diego, 495–525 (1988).
110. Shang, J. and Sueyoshi, T., "A unified framework for the selection of a flexible manufacturing system", **Eur. J. Oper. Res.**, 85(2): 297-315 (1995).
111. Sherali, H. D., Fraticelli, B. M. P. and Meller, R. D., "Enhanced model formulations for optimal facility layout", **Oper. Res.**, 51(4): 629–644 (2003).
112. Shyur, H.J., "COTS evaluation using modified TOPSIS and ANP", **Appl. Math. Computation**, 177: 251-259 (2006).
113. Singer G., "Filling the gaps in the human factors certification net", In: S. Dekker and E. Hollnagel (Eds.), *Coping with computers in the cockpit*, **VT: Ashgate**, Brookfield, 87–107 (1999).
114. Sinuany-Stern, Z., Mehrez, A. and Hadad, Y., "An AHP/DEA methodology for ranking decision making units", **Int. Tran. Oper. Res.**, 7(2): 109-124 (2000).

115. Smith C., "Design of the euro-fighter human machine interface", In: Air and space **Elsevier Science**, Amsterdam, 3: 54–59 (1999).
116. Stager P., "Achieving the objectives of certification through validation: Methodological issues", In: Wise J, Hopkins V (Eds.), Human factors in certification, **Lawrence Erlbaum Associates Ltd.**, London, 91–104 (2000).
117. Stein, E. S. "A critical component for air traffic control systems", In: Wise J, Hopkins V (Eds.), Human factors in certification, **Lawrence Erlbaum Associates Ltd.**, London, 57–63 (2000).
118. Stern, K. R., "An evaluation of written, graphics, and voice messages in proceduralized instructions", In: **Proceedings of the Human Factors Society 28<sup>th</sup> Annual Meeting**, Santa Monica, Human Factors Society, 1: 314–318 (1984).
119. Stokes A. and Wickens C., "Aviation Displays", In: E Wiener, D Nagel (Eds.), Human factors in aviation, **CA: Academic**, San Diego, 387–431 (1988).
120. Strauch B., "Automation and decision making—lessons from the Cali accident", In: **Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 41<sup>st</sup> Annual Meeting**, Albuquerque, Human Factors and Ergonomics Society, 195–199 (1997).
121. Suresh, N.C. and Kaparathi, S., "Flexible automation investments: A synthesis of two multi objective modeling approaches", **Comp. Ind. Eng.**, 22(3): 257-272 (1992).
122. Tam, M.C.Y. and Tummala, V.M.R., "An application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system", **Int. J. Manag. Sci.**, 29(2): 171-182 (2001).
123. Tate, D.M. and Smith, A.E., "Genetic Approach to The Quadratic Assignment Problem", **Comp. Oper. Res.**, 22 (1): 73-83 (1995).
124. Tavakkoli-Moghaddain, R., Shayan, E., "Facilities layout design by genetic algorithms", **Comp. Ind.Eng.**, 35(3-4): 527-530 (1998).
125. Tlauka M., Stantion D. and Mc.Kenna F.P., "Dual displays", **Ergonomics**, 43(6): 764-770 (2000).
126. Tolga, E., Demircan, M.L. and Kahraman, C., "Operating system selection using fuzzy replacement analysis and AHP", **Int. J. Prod. Econ.**, 97: 89-117 (2005).

127. Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Frazelle, E. H., Tanchoco, J. M. A. and Trevino, J., "Facility planning" (2nd ed.) **John Wiley & Sons**, New York, (1996).
128. Tullis T.S., "An evaluation of alphanumeric, graphic, and color information displays", **Hum. Fact.**, 23: 541–550 (1981).
129. Tullis T. and Wood L., "How Many Users Are Enough for a Card-Sorting Study?", **Proceedings UPA'2004**, Minneapolis, (2004).
130. Vinodh, S., Ramiya, R.A. and Gautham, S.G., "Application of fuzzy analytic network process for supplier selection in a manufacturing organisation", **Expert Syst. Appl.**, 38: 272-280 (2011).
131. Virzi, R. A., "Usability Inspection Methods", In: Helveer M, Lveauer T, Prabhu P (Eds.), Handbook of human-computer interaction, **Elsevier**, New York, 705–715 (1997).
132. Weck, M., Klocke, F., Schell, H. and Rüenauer, E., "Evaluating alternative production cycles using the extended fuzzy AHP method", **Eur. J. Oper. Res.**, 100(2): 351- 366 .(1997)
133. Wickens, C.D. and Scott B.D., "A Comparison of Verbal and Graphical Information Presentation in a Complex Information Integration Decision Task", **University of Illinois Tech. Rep. No. EPL<@ 510> 83–1/ONR–83–1**, Urbana,(1983)
134. Wickens, C.D. and Long J., "Object vs. space based models of visual attention: implications for the design of head up displays", **J. Exp. Psycholo. Appl.**, 1: 179-193 (1995).
135. Wickens, C.D. and Prevett, T., Exploring the Dimensions of Egocentricity in Aircraft Navigation Displays. **J. Exp. Psycholo. Appl.**, 1: 110-123 (1995).
136. Williams, HP., Hutchinson, S. and Wickens C.D., "A comparison of methods for promoting geographic knowledge in simulated aircraft navigation", **Hum. Fact.**, 38: 50-64 (1996).
137. Williams, K.W., "Navigation display design: Displaying nearest airport information", **Int. J. Aviat. Psycholo.**, 9: 91–106 (1999).
138. Williges, R.C., Williges, B.H. and Fainter R.G., "Software interfaces for aviation systems", In: E. Wiener & D. Nagel (Eds.), Human factors in aviation **CA: Academic**, San Diego,463–493 (1988).

139. Wixon D and Wilson C., "The usability framework for product design and evaluation", In: Helveer M, Lveauer T, Prabhu P (Eds.), Handbook of human-computer interaction, **Elsevier**, New York, 653–685 (1997).
140. Wolfslehner, B., Vacik, H. and Lexer, M.J., "Application of the analytic network process in multi-criteria analysis of sustainable forest management", **For. Ecol. Manag.**, 207: 157-170 (2005).
141. Xiaohua, W. and Zhenmin, F., "Sustainable development of rural energy and its appraising system in China", **Renew. Sustain. Energ. Rev.**, 6: 395-404. (2002).
142. Xie, W., Sahinidis, N. V., "A branch-and-bound algorithm for the continuous facility layout problem", **Comp. Chem. Eng.**, 32 : 1016–1028 (2008).
143. Yang, T. and Kuo, C., "A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem", **Eur. J. Oper. Res.**, 147(1): 128-136 (2003).
144. Yang, T. and Peters, B., "Flexible machine layout design for dynamic and uncertain production environments", **Eur. J. Oper. Res.**, 108: 49–64 (1998).
145. Yedla, S. and Shresta, R.M., "Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delhi", **Trans. Res. Part A**, 37: 717-729 (2003).
146. Yu, C.S., "A GP-AHP method for solving group decision-making Fuzzy AHP problems", **Comp. Oper. Res.**, 29(14): 1969-2001 (2002).
147. Zhang, G., Ni, Y., Churchill, J. and Kokot, S., "Authentication of vegetable oils on the basis of their physico-chemical properties with the aid of chemometrics", **Talanta**, 70: 293–300 (2006).
148. Zhu, K., Jing, Y., and Chang, D., "A discussion on extent analysis method and applications of fuzzy AHP", **Eur. J. Oper. Res.**, 116(2): 450-456 (1999).
149. Zionts, S., "A multiple criteria method for choosing among discrete alternatives", **Eur. J. Oper. Res.**, 7:143-147 (1981).



## EKLER

Adı Soyadı	
Başlangıç / Bitiş Saati	
Uçuş Tecrübesi (Yıl/ Saat)	
Kullandığı Hava Aracı Modelleri	

Bu anket Nicel ve Nitel yaklaşımlarla elde edilen genel maksat helikopteri gösterge paneli tasarımlarının kullanıcı memnuniyeti açısından değerlendirilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Bu kapsamda; 1. Aşağıda belirtilen kriterlere (Ki) göre, her bir göstergenin 2 farklı tasarımdaki (T1,T2) konumlarını değerlendiriniz. 2. Memnuniyet seviyenizi 1 ile 10 arasında (10 en yüksek olmak üzere) bir puan vererek T1 ve T2 için yazınız. Anketimize katıldığınız için teşekkür ederiz.

SEÇİLEN GÖSTERGELER																																								
Ki	Hız		Pozisyon		Altimet.		Yakıt Basınç		Yakıt Miktar		Takomet		Radyo pusula		Varyo-met.		Torkmet		Pusula		Ana Jen. Yükmet.		Voltmet		Saat		N1		EGT		Motor Yağ Basınç		Motor Yağ Sıcak.		Trans. Yağ Basınç		Trans. Yağ Sıcak.			
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2		
1																																								
2																																								
3																																								
4																																								
5																																								
6																																								
Ki	KRİTERLER (Ki)																																							
1	<b>Çapraz kontrol:</b> Aynı anda birden fazla göstergeye bakma durumu halinde göstergenin konumunun uygunluğu																																							
2	<b>Görüş alanı:</b> Göstergede sunulan uçuş (sürat, pozisyon, vb.) ya da diğer sistem (sıcaklık, basınç, tork vb.) bilgilerinin okunabilirliği ve algılanabilirliği açısından görüş alanı düşünülürse göstergenin konumunun uygunluğu																																							
3	<b>Motor, transmisyon ve uçuş göstergelerinin kontrol kolaylığı:</b> Aynı sisteme ait göstergelerin birbirine yakınlığı ve yerleşim şekli; örneğin uçuş sistemi göstergeleri ve motor göstergelerinin ayrı gruplar oluşturması, ya da yakıt sistemine ait basınç ve miktar göstergelerinin, motor sistemine ait sıcaklık ve basınç göstergelerinin konumları gibi																																							
4	<b>Görerek ya da görmeyerek uçuş:</b> 2 saatlik bir normal uçuşta (görerek ya da aletli uçuş durumunda) gösterge konumu, kullanılabilirliği																																							
5	<b>Panelin ergonomik yapısı, tasarımı ve estetiği:</b> Göstergelerin gözün seviyesine uygunluğu, bakış açısı ve panelin ergonomik yapısı																																							
6	<b>Her bir göstergenin kullanım sıklığı:</b> 2 saatlik bir normal uçuşta göstergenin kullanım sıklığı ve göstergenin konumunun uygunluğu																																							

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgileri

Soyadı, adı :ŞENOL, Mehmet Burak  
Uyruğu :T.C.  
Doğum tarihi ve yeri :10.08.1981 Sakarya  
Medeni hali :Evli  
Telefon : 0 (312) 252 6200 / 5980  
Faks : 0 (312) 252 6182  
e-mail : [senolmehmet81@hotmail.com](mailto:senolmehmet81@hotmail.com)

### Eğitim Derece

### Eğitim Birimi

### Mezuniyet Tarihi

Doktora Araştırma Bursu	Wayne State University	2011
Yüksek lisans	Orta Doğu Teknik Üniversitesi	2007
Lisans	İstanbul Teknik Üniversitesi	2003
Lise	Kuleli Askeri Lisesi	1999
İlköğretim	Taraklı İlköğretim Okulu	1995

### İş Deneyimi Yıl

### Yer

### Görev

2003-2012	Kalite Yönetim Müdürlüğü 5'inci Ana.Bkm.Mrk.K.lığı Güvercinlik / Ankara	Klt.Sis.Anlz.Giş.Böl.A.
-----------	---	-------------------------

### Yabancı Dil

İngilizce, Fransızca, Rusça

**Yayınlar**

1. Şenol M.B., CHINNAM R., Murat A.E, “A Sequential Heuristic Approach for Solving Layout Design Problems”, INFORMS 2011 Annual Meeting, TransfORmation CHARLOTEE, NORTH CAROLINA SC38, p.111, 2011.
2. Şenol M.B., ELLIS, R. D., Murat A.E., “Determining the Optimal Number of Robots in a Single Operator Multi-Robot Environment”, INFORMS 2011 Annual Meeting, TransfORmation CHARLOTEE, NORTH CAROLINA WC23, p.395, 2011.
3. Şenol M.B., Dağdeviren M., Kurt M., “Display panel design of a general utility helicopter by applying quantitative and qualitative approaches”, Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, 20 (1):73-86, 2010.
4. Şenol M.B., Dağdeviren M., Kurt M., Çilingir C., “Evaluation of cockpit design by using quantitative and qualitative tools”, IEEE Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM Proceedings) Hong Kong. p. 847-851, 8-11 December 2009.
5. Şenol M.B., Dağdeviren M., Kurt M., Çilingir C., “Genel Maksat helikopteri gösterge paneli tasarımı”, 14. Ulusal Ergonomi Kongresi (KTÜ Ergonomi 2008) Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon. Bildiriler Kitabı Cilt II, p. 577-584, 30 Ekim-1 Kasım 2008.

**Hobiler**

Doğa Sporları, Satranç, Akvaryum