

HAVA ARACI KOKPİT ARAYÜZ DEĞERLENDİRMESİ İÇİN ÇOK KRİTERLİ BİR YAKLAŞIM

Mehmet Burak ŞENOL¹, Metin DAĞDEVİREN², Mustafa KURT²

1.KKK'lığı, 5'inci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı, Ankara, Türkiye

2. Endüstri Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

senolmehmet81@hotmail.com, metindag@gazi.edu.tr, mkurt@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 21.03.2013; Kabul/Accepted: 22.08.2013)

ÖZET

Hava araçlarında uçuş emniyetini sağlayan en önemli faktör insan-makine etkileşimini sağlayan arayüzlerdir. Pilot-kokpit etkileşim kalitesi ile uçuş emniyeti ve arayüz kullanılabilirliği arasında yakın bir ilişki vardır. Kokpit arayüzleri ile etkileşimde mürettebat hataları yıkıcı sonuçlar ortaya çıkarabilmekte olup, kullanıcı-dostu arayüz tasarımı ile etkileşim kalitesi ve uçuş emniyeti iyileştirilebilmektedir. Literatürde arayüz tasarımı ve kullanılabilirliği için farklı kullanılabilirlik değerlendirme teknikleri (KDT) kullanılmaktadır; bu tekniklerin çoğunun öznel değerlendirmelere bağlı olması sebebiyle hatalı sonuçların elde edilebilmesine sebep olmaktadır. Bu çalışmada kokpit arayüz kullanılabilirlik seviyelerinin değerlendirilmesi, geliştirilmesi ve kullanılabilirlik sıralaması için çok kriterli bir yaklaşım önerilmiştir. Çalışmada kullanılan alternatif arayüzler; nicel, nitel ve birleşik tasarım yaklaşımlarının sonucu olarak belirlenmiş ve birleşik tasarım ile daha tatminkar sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İnsan-makine etkileşimi, Arayüz değerlendirmesi, Kokpit Tasarımı, Çok kriterli analiz

A MULTI CRITERIA APPROACH FOR AIRCRAFT COCPIT INTERFACE EVALUATION

ABSTRACT

The most important factor in aircraft flight safety is the interfaces, which provide human-machine interaction. There is a close relationship between flight safety and interface usability with pilot-cockpit interaction quality. The consequences of crew errors in interacting with cockpit interfaces are catastrophic. Interaction quality and flight safety can be improved with a user-friendly interface design. Different usability evaluation techniques are applied for interface design and usability in literature. Subjectivity within most usability evaluation techniques may lead to inaccurate results. In this study, a multi-criteria approach is offered for the usability evaluation, improvement and ranking of cockpit interfaces. Alternative interfaces, used in this study, are the results of quantitative, qualitative and unified design approaches. More satisfactory results were obtained from the unified design.

Keywords: Human-machine interaction, Interface evaluation; Cockpit design; Multi Criteria Analysis

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kullanıcı-dostu arayüzün belirlenmesi havacılık endüstrisi için önemli bir sorundur. Uçuş prosedürlerinin çoğu karmaşık insan-makine etkileşimini içermektedir ve mürettebat hatalarının yıkıcı sonuçları olabilir. Kaza nedenleri incelendiğinde hava aracı sistemlerine ait göstergelerin takibi sırasında karşılaşılan zihinsel yük ve sonrasında yapılan insan hatalarının kazalara neden

olabileceği görülmüştür [1,2]. 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 [3].

Hava aracı kokpit tasarım sürecinde 1970'lere kadar önemli bir değişiklik olmamıştır. Ancak teknolojik gelişmelerle son 30 yılda kontrol ve gösterge

sistemlerinde önemli değişiklikler olmuştur [4]. Federal Havacılık Yönetimi (Federal Aviation Administration, FAA) “İnsan Faktörleri Çalışma Raporu” ölümcül kazaların % 70’inin uçuş ekibi ile modern kokpit arayüzleri arasındaki etkileşim problemlerinden ve insan hatalarından kaynaklandığını göstermiştir [4]. Yeni gösterge sistemlerinin kokpitlere transferinde diğer tüm kontrol ve göstergelerle kullanılabilirlik açısından sezgisel entegrasyonu ve kontrol sırası yeniden planlanmamıştır. Bu sistematik olmayan yaklaşım karmaşık ve komplike gösterge düzenlerine, dizilimlerine yol açmıştır. Genel olarak, pilotun zihinsel iş yükünü azaltmak amacıyla geliştirilen yeni teknolojiler kokpitlere ilave diğer sistemlerin eklenmesiyle etkisiz kalmaktadır [5, 6].

Havacılıkta kullanılan bir göstergelyi kullanışlı yapan birçok parametre bulunmaktadır. Göstergelerden okunacak bilginin sunum karakteristiklerine yönelik özellikleri, grafik ya da metin formları, referans çerçeveleri bu parametrelerdendir. Genel kanı grafiksel olarak sunulan bilgilerin üstünlüğü yönündedir [7]. Aracın pozisyonu konusunda pilota bilgi veren göstergelerin referans çerçevelerinin sunum şekilleri (formatları) de dikkate alınması gereken önemli parametrelerden biridir. Pilotaj performansının gösterge türüyle birlikte görev türüne de bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Pilotların karar verme hızları ve aldıkları kararlardaki doğruluk seçilen gösterge türünden etkilenmektedir [8].

Operasyonel etkinlik ve kullanıcının bütünsel deneyimini incelemek amacıyla çok çeşitli arayüz tasarım çalışmaları yapılmıştır [9-15]. Belirli gösterge özelliklerinde gelişmeler sistem kullanılabilirliğini artırabilir, ancak uçuş ve navigasyon bilişsel açıdan çok yorucudur. Bu nedenle göstergeleri münferiden geliştirerek daha kullanılabilir hale getirmenin yanında, göstergelerin tamamının birbirleri ile entegrasyonu ile oluşturulacak gösterge paneli de kullanıcı dostu bir tasarıma sahip olmalıdır.

Kullanıcı-dostu bir sistemde, operatör ve cihaz arasındaki iletişim doğal ve sezgiseldir. Kullanılabilirlik Değerlendirme Tekniklerinin (KDT) uygulanmasındaki hedef insan-sistem, makine etkileşimi sırasında yaşanan süreçlerin doğrulanmasıdır. Bu teknikler kullanılabilirlik testi ve kullanılabilirlik incelemesi olmak üzere iki sınıfta ayrılmaktadır [16]. Uzun uygulama süresi nedeniyle havacılık endüstrisi KDT’yi, yeni teknolojilerin kokpitlere aktarılmasında gecikmeye neden olan faktörlerden biri olarak görmektedir.

KDT genellikle sezgisel esaslara dayanmaktadır ve çeşitli sakıncaları vardır. Bu tekniklerin üç niteliği; değerlendiricinin karakteristik özellikleri, değerlendirici sayısı ve değerlendirme hedefleri değerlendirme sonucunu etkilemektedir [16]. İlk

olarak uzmanlık seviyesi ve türü değerlendirme sonucunu etkiler. İkinci nitelik göz önüne alındığında, daha karmaşık bir arayüz değerlendirme için daha fazla sayıda değerlendiriciye ihtiyaç vardır. Sezgisel bir değerlendirmede tespit edilen tasarım hatalarının sayısı değerlendirici sayısı arttıkça artmaktadır. İki değerlendirici kullanılabilirlik sorunlarının %50’sini, üç değerlendirici yaklaşık %60’ını bulabilir ve bir tasarımda kullanılabilirlik sorunlarını %90 tespit etmek için yaklaşık 15 değerlendirici gerekmektedir. Hedeflerin değerlendirme sürecinin başlangıcında belirlenmesi uygun KDT tekniğinin seçimi için gereklidir [16].

Bu çalışmada farklı arayüz tasarım modellerinin değerlendirilmesinde kullanılabilecek çok kriterli alternatif bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım ile nitel, nicel ve birleşik tasarım modelleri çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden olan analitik ağ prosesi (AAP) ve PROMETHEE ile değerlendirilerek en iyi tasarım belirlenmeye çalışılmıştır.

2. YÖNTEMLER (METHODS)

2.1. Analitik Ağ Prosesi (Analytic Network Process)

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) 1977 yılında Thomas L. Saaty tarafından karmaşık ÇKKV problemlerini çözmek için geliştirilen tekniklerden birisidir. Yöntem literatürde çok sayıda ve farklı alanlardaki problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Üretim [17-19], enerji [20-22], yatırım [23], yer seçimi [24] ve tarım problemlerinin [25] çözümünde AHP yöntemi çeşitli araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. AHP’de temel varsayım karar hiyerarşisinin üst kısmının tüm alt kısımlarından bağımsız oluşudur. Birçok karar verme problemi AHP’deki gibi hiyerarşik olarak yapılandırılmaz, çünkü bu problemler üst seviye elemanların daha alt seviye elemanlarla etkileşim ve bağımlılığını içerir [26,27]. Saaty, alternatif ya da kriterler arasında bağımlılıkların dikkate alınmaması durumunda AHP’nin, alternatif ya da kriterler arasında bağımlılıkların dikkate alındığı durumda ise Analitik Ağ Prosesinin (AAP) kullanılmasını tavsiye etmektedir [28]. AHP tek yönlü hiyerarşik ilişki ile temsil edilen bir yapıda olmasına rağmen, AAP karar seviyeleri ve nitelikleri arasındaki karmaşık ilişkilerin çözümüne izin vermektedir. Literatürde çeşitli karar verme problemlerinin çözümü için ANP kullanan birçok çalışma mevcuttur [29-32]. AAP üç adımdan oluşur [33] :

Adım 1: Bu aşamada kriterler arasındaki bağımlılığı göz ardı ederek, Karar Vericiden (KV) kriterleri ikili olarak değerlendirmesi istenir. “*Hangi kriter daha fazla vurgulanmalı, ne kadar fazla?*” gibi sorular KV tarafından cevaplanır. Cevaplar sayısal olarak sunulur ve Saaty’nin 1-9 esaslı ölçeğine göre derecelendirilir. İkili karşılaştırmalar tamamlandıktan sonra ağırlık

vektörü w_1 , $Aw_1 = \lambda_{\max} w_1$ denklemin çözümünden elde edilir. Burada İkili Karşılaştırma Matrisinin (A) en büyük özdeğeri; λ_{\max} vektörü hesaplanır. Normalleştirilmiş ağırlık vektörü w_2 'yi bulabilmek için, elde edilen w_1 vektöründeki her değer bulunduğu sütundaki değerler toplamına bölünür.

Adım 2: Bu adımda karar verici bütün kriterlerin birbirleri üzerindeki etkilerini ayrıca ikili karşılaştırmalar kullanarak inceler. “*Hangi kriter, Kriter 1’e daha fazla etki edecek: Kriter 2 mi yoksa Kriter 3 mü, ne kadar fazla?*” gibi sorular cevaplandırılır. Birbiriyle etkileşen kriter grupları için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. 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 $w_c = Bw_2^T$ eşitliği ile hesaplanır.

2.2. Bulanık PROMETHEE (F-PROMETHEE)

Gündelik yaşamda karşılaşılan ÇKKV problemleri genellikle kesin sayılar ile ifade edilebilir değerlendirmeler içermemektedir. Karar alma süreçleri karşılaştırma doğası gereği belirsizlik içerir. Çünkü kullanılan girdi değerleri karar vericinin düşünce ve tecrübelerine dayandığı; dolayısıyla dilsel terimlerle ifade edildiği zaman oluşan belirsizlik ve bulanıklıktan ötürü yanlış değerlendirmeler yapılarak yanlış sonuçlara ulaşma olasılığı çok yüksektir. Bu gibi durumlarda ÇKKV metotları bulanıklık içerecek şekilde geliştirilmelidir.

Bulanık PROMETHEE yöntemi, prensipte PROMETHEE ile aynı mantıkla yürütülürken, bazı araştırmacılarca farklı ek uygulamalar kullanılarak da çalıştırılmıştır [34-39]. PROMETHEE metodunun bulanık küme teorisi ile birleştirilmesi ilk olarak Lé Teno ve Mareschal [34] tarafından öne sürülmüş ve birçok karar verme probleminin çözümünde kullanılmıştır. Goumas ve Lygerou [35] alçak ısıda jeotermal alana ait enerji soğurma planlarının sıralanması ve değerlendirilmesi için bulanık PROMETHEE yöntemini kullanmışlardır. Geldermann vd. [36] çalışmalarında bulanık PROMETHEE yöntemini kullanarak demir ve çelik endüstrisinde “Ömür Döngü Değerlendirmesi” gerçekleştirmişlerdir. Bilsel vd. [37] hastane web sitelerinin performanslarını ölçen bir kalite değerlendirme modeli geliştirmişlerdir. Liu ve Guan [38] dilsel verileri bulanık sayılara dönüştürerek PROMETHEE II sürecini bulanıklaştırmışlardır. Yılmaz ve Dağdeviren [39] kaynak makinesi seçim problemini bulanık ortamda PROMETHEE yöntemi ile ele almışlardır. Satın alma faaliyetleri yürüten bir kamu kuruluşu için tedarikçi seçimi ve değerlendirilmesinde AHP ile birlikte PROMETHEE II metodu birlikte kullanılmıştır [40]. Başka bir

çalışmada Ulusal IPv6 Protokolü Altyapı Tasarımı ve Geçiş Projesi kapsamında, AHP yöntemi en uygun geçiş stratejisine karar vermede kullanılmıştır [41].

Bu çalışmada bulanık PROMETHEE uygulamasında Dubois ve Prade [42] tarafından önerilen, bir bulanık sayıyı $x=(m,a,b)_{LR}$ şeklinde gösteren notasyon izlenmiştir. Bu notasyonda, x değişkeni bulanık kümeye aittir ve üyelik fonksiyonu $f(x)=1$ değerini alır. $(m-a)$ 'dan küçük ve $(m+b)$ 'den büyük değerler bu kümeye ait değildir. $[m-a < x < m+b]$ aralığındaki değerlerin üyelik derecesi 0 ve 1 arasında değişen üyelik fonksiyonu tarafından belirlenir. L ve R harfleri sırasıyla m 'nin soluna ve sağına doğru $f(x)$ 'teki değişikliği gösteren fonksiyonlardır. Uygulamada tercih eşik değerleri (q ve p) ve ağırlıklar kesin sayı olarak kullanılmıştır. q ve p bir bulanık sayının esnetilmiş biçiminden dolayı yapılacak değerlendirmelerin belirsiz olmasının engellenmesi için bulanık sayı değildir [35]. Aynı şekilde ağırlıklar, PROMETHEE metodunda ağırlıklar toplamının "1" olması nedeniyle bulanık sayı olamaz [37]. PROMETHEE metodu problemin çözümünde her bir kriter için farklı tercih fonksiyonu kullanmakta olup, bu çalışmada uygulamada en sık kullanılan ve problemin karakteristiğine en uygun olan doğrusal tercih fonksiyonu (5. tip) kullanılmıştır.

3. ÖNERİLEN MODEL VE UYGULAMASI (PROPOSED MODEL AND ITS APPLICATION)

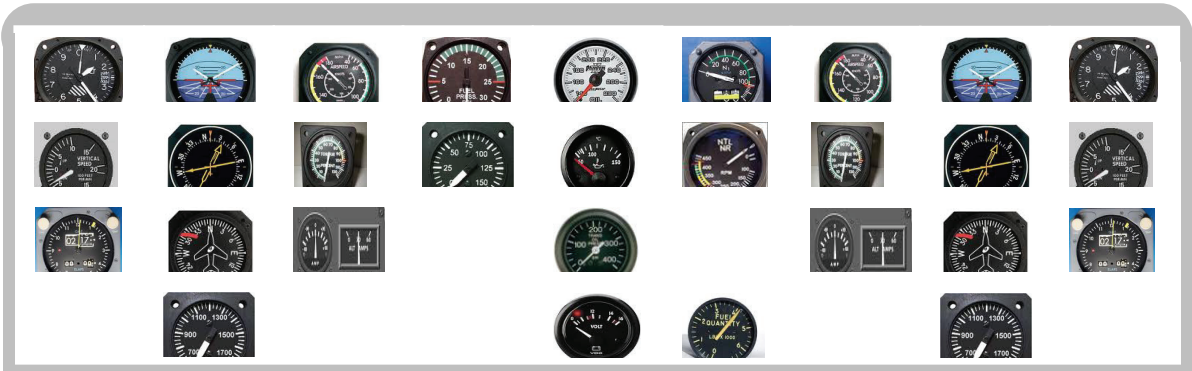
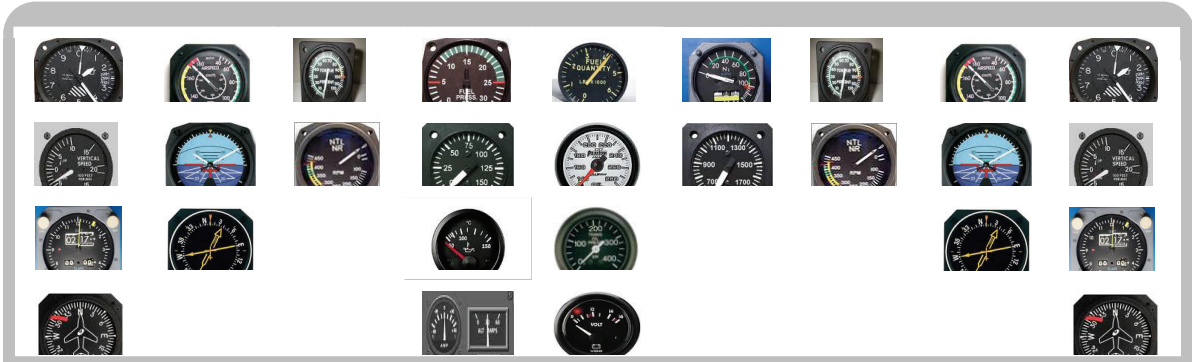
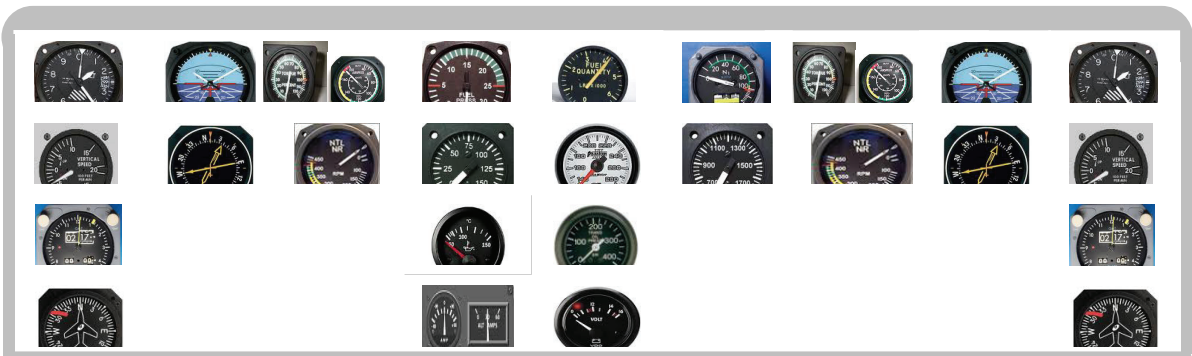
Önerilen model üç aşamadan oluşmaktadır: (1) Kriter ve alternatiflerin belirlenerek hiyerarşik modelin oluşturulması, (2) AAP hesaplamaları, (3) Alternatiflerin bulanık PROMETHEE ile kullanılabilirlik değerlendirilmesi, sıralanması ve en iyi arayüzün seçilmesi.

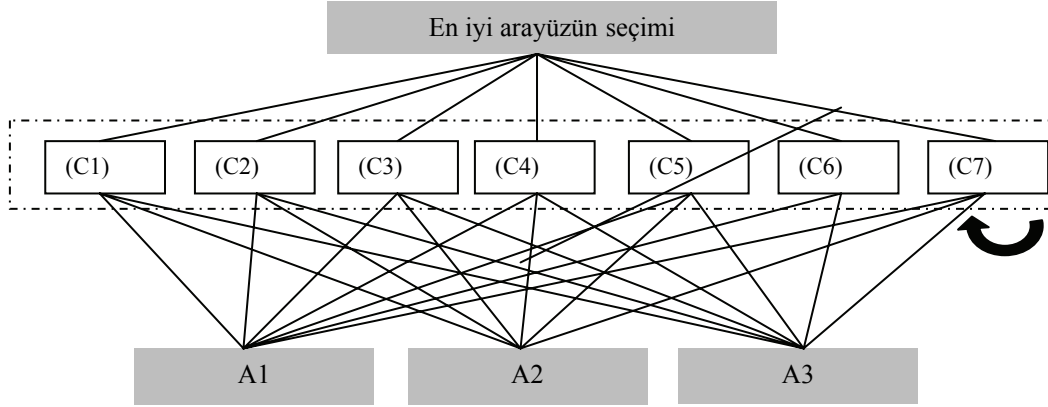
Aşama 1: Arayüz tasarımı değerlendirilmesinde kullanılacak kriterlerin belirlenmesi

Bu aşamada farklı arayüz tasarım modellerinin değerlendirilmesinde kullanılacak olan kriterler belirlenmiştir. Kriterlerin belirlenmesinde konu ile ilgili uzman personellerin tecrübesinden yararlanılmış ve Tablo 1’de verilen kriterler belirlenmiştir. Değerlendirme kriterlerinin belirlenmesinin ardından alternatif arayüz tasarım modelleri belirlenmiş ve bu amaçla Şenol vd. [43] tarafından belirlenen nicel, nitel ve birleşik arayüz tasarım modelleri kullanılmıştır. İlgili tasarım modelleri Şekil 1-3’de verilmiştir. Belirlenen yedi değerlendirme kriteri ve üç alternatif arayüz modeli kullanılarak hiyerarşik model oluşturulmuş ve Şekil 4’de verilmiştir. Bu hiyerarşide üç seviye bulunmaktadır. Karar hiyerarşisinin birinci seviyesinde karar sürecinin ana hedefi “en iyi arayüzün seçimi” yer almaktadır. İkinci seviyede Tablo 1’de verilen değerlendirme kriterleri, üçüncü seviyede ise alternatif arayüz tasarım modelleri yer almaktadır.

Tablo 1. Arayüz tasarım modellerinin değerlendirilmesinde kullanılan kriterler (The criteria used in interface design)

Kriterler	Tanımlar
Çapraz kontrol (C1)	Aynı anda birden fazla göstergeye bakma halinde gösterge konumunun uygunluğu
Görüş alanı (C2)	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
Motor, transmisyon ve uçuş göstergelerinin kontrol kolaylığı (C3)	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 konumları gibi.
Uçuş koşulları (C4)	2 saatlik bir uçuşta (görerek ya da aletli uçuş) göstergelerin konumu, kullanılabilirliği
Panel tasarımı (C5)	Göstergelerin göz seviyesine uygunluğu, bakış açısı, panelin ergonomisi
Gösterge kullanım sıklığı (C6)	Tecrübeden ziyade 2 saatlik bir normal uçuş düşünüldüğünde göstergenin kullanım sıklığı ve göstergenin konumunun uygunluğu
Verilerin önemi (C7)	Pilotun göstergedeki bilgiyi yanlış algılaması halinde uçuş emniyetine etkisi

**Şekil 1.** Nicel yaklaşım ile tasarlanmış arayüz modeli (A1) (Interface design gained by Quantitative Approach)**Şekil 2.** Nitel yaklaşım ile tasarlanmış arayüz modeli (A2) (Interface design gained by Qualitative Approach)**Şekil 3.** Birleşik yaklaşım ile tasarlanmış arayüz modeli (A3) (Interface design gained by Unified Approach)



Şekil 4. Hiyerarşik Karar Modeli (Decision Hierarchy Model)

Aşama 2: Kriter Ağırlıklarının (AAP) Hesaplanması

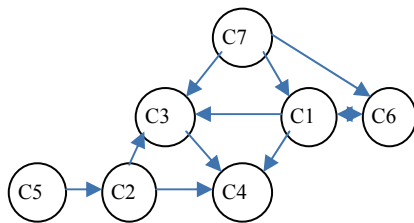
İlk olarak değerlendirme kriterleri arasındaki bağımlılıklar dikkate alınmadan bir ikili karşılaştırma matrisi belirlenerek bağımsız kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. İkili karşılaştırma matrisleri Saaty'nin 1-9 önem ölçeği temelinde geometrik ortalama yaklaşımı ile belirlenmiştir (Tablo 2). İkili karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı 0,04 olarak hesaplanmış olup bu değerden hareketle ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır. İkili karşılaştırmaların sonunda, kriter

ağırlıkları sırasıyla 0,275 - 0,222 - 0,149 - 0,087, 0,053 - 0,054 - 0,083 ve 0,130 olarak hesaplanarak normalize edilmiş öncelik vektörü (w_2) belirlenmiştir.

İzleyen aşamada kriterler arasındaki ilişkilere göre bağımlı ağırlıklar AAP ile belirlenmiştir. Kriterler arasındaki bağımlılıklar ilgili uzman grubun görüşlerinden hareketle Şekil 5'de verilen şekilde belirlenmiştir. Bu bağımlılıklardan hareketle hesaplanan iç bağımlılık dereceleri Tablo 3'de tutarlılık oranları (CR) ile birlikte verilmiştir.

Tablo 2. Kriterler için ikili karşılaştırma matrisi ve önem ağırlıkları (Pairwise comparison matrix for criteria and weights)

Kriterler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Ağırlıklar
C1	1	2	2	4	3	3	2	0,275
C2	½	1	2	3	4	3	2	0,222
C3	½	½	1	2	2	2	2	0,149
C4	¼	1/3	½	1	2	2	½	0,087
C5	1/3	¼	½	½	1	1/3	1/3	0,054
C6	1/3	1/3	½	½	3	1	½	0,083
C7	½	½	½	2	3	2	1	0,130



Şekil 5. Kriterler arasındaki bağımlılıklar (Dependence Among Criteria)

Tablo 3. Kriterler için göreceli ağırlıklar (Degree of relative impact for criteria)

Kriter	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	0,525	0	0,417	0,335	0	0,4	0
C2	0	0,667	0,193	0,136	0	0	0
C3	0	0	0,269	0,242	0	0	0
C4	0	0	0	0,287	0	0	0
C5	0	0,333	0	0	1	0	0
C6	0,334	0	0	0	0	0,4	0
C7	0,142	0	0,121	0	0	0,2	1
CR	0,04	0	0,02	0,06	-	0	-

Normalize edilmiş öncelik vektörü (w_2) ve Tablo 3'de verilen iç bağımlılıklar kullanılarak bağımlı kriter ağırlıkları aşağıda verildiği gibi hesaplanmıştır. Bağımlı kriter ağırlıkları ile bu bağımlılıklar dikkate alınmadan hesaplanan ağırlık değerleri (Tablo 2)

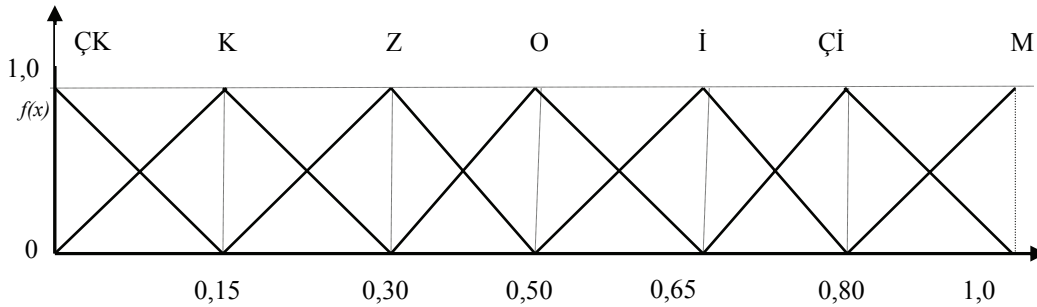
$$w_e = \begin{bmatrix} C1 \\ C2 \\ C3 \\ C4 \\ C5 \\ C6 \\ C7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,525 & 0 & 0,417 & 0,335 & 0 & 0,4 & 0 \\ 0 & 0,667 & 0,193 & 0,136 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,269 & 0,242 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,287 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,333 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0,334 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,4 & 0 \\ 0,142 & 0 & 0,121 & 0 & 0 & 0,2 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,275 \\ 0,222 \\ 0,149 \\ 0,087 \\ 0,054 \\ 0,083 \\ 0,130 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,268 \\ 0,188 \\ 0,062 \\ 0,025 \\ 0,128 \\ 0,126 \\ 0,203 \end{bmatrix}$$

Aşama 3: Alternatiflerin Kullanılabilirlik Değerlendirmesi ve Sıralanması:

Bu aşamada alternatif arayüz modelleri bulanık PROMETHEE yöntemi kullanılarak sıralanmıştır. Alternatif arayüz modellerinin kriterler temelinde sıralanmasında Şekil 6'da verilen dilsel değişkenler kullanılmıştır. Bu dilsel değişkenler ve karşılık gelen üçgensel bulanık sayılar şu şekildedir: Çok Kötü (ÇK) (0 0 0,15)_{LR}, Kötü (K) (0,15 0,15 0,15)_{LR}, Zayıf (Z)

arasında önemli farklar görülmektedir. Bağımlılıklar dikkate alınmadan C1, C2, C3, C7 kriterleri en önemli dört kriter olarak belirlenirken, kriterler arasında bağımlılıklar dikkate alındığında C1, C7, C2, C5 kriterleri en önemli dört kriter olarak belirlenmiştir.

(0,30 0,15 0,20)_{LR}, Orta (O) (0,50 0,20 0,15), İyi (İ) (0,65 0,15 0,15)_{LR}, Çok İyi (Çİ) (0,80 0,15 0,20)_{LR}, Mükemmel (M) (1 0,2 0)_{LR}. Şekil 6'da verilen dilsel değişkenler kullanılarak bulanık PROMETHEE yöntemi için Tablo 4'de verilen karar matrisi oluşturulmuştur. Bu karar matrisinde; kriterler, kriter ağırlıkları, kriter tipleri ve her arayüz tasarım modelinin kriter temelindeki bulanık değerlendirme yer almaktadır.



Şekil 6. Dilsel değişkenler ve üyelik fonksiyonları (Linguistic variables and preference function) [37]

Tablo 4. Bulanık ifadelerle yapılan değerlendirmeler (Evaluations with fuzzy expressions)

Kriterler	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Enb/Enk	Enb	Enb	Enb	Enb	Enb	Enb	Enk
Ağırlıklar	0,268	0,188	0,062	0,025	0,128	0,126	0,203
A1	O	O	O	İ	İ	İ	İ
A2	İ	İ	Çİ	O	Çİ	İ	O
A3	Çİ	O	İ	M	O	İ	Çİ

Tüm PROMETHEE adımları bulanık sayılarla gerçekleştirilerek yapılan işlemler Tablo 5 ve 6'da özetlenmiştir. Yapılacak değerlendirmelerin belirsiz olmasının engellenmesi için lineer fonksiyona ait tercih fonksiyonu eşik değerleri ($q=0$ ve $p=0,6$) ve ağırlıklar kesin sayı olarak alınmıştır.

Tablo 6'da verilen genel tercih indeksleri Yager indeksi [44] ile durulaştırılmıştır. Durulaştırılmış genel tercih indeksleri Tablo 7'de, Bulanık PROMETHEE yöntemi ile hesaplanan net üstünlük değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 5. Alternatiflerin kriterlere göre karşılaştırması (Comparison of alternatives wrt. criteria)

Ci	A1-A2	A1-A3	A2-A1	A2-A3	A3-A1	A3-A2
C1	0	0	I-O (0,15 0,35 0,30)	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 0,30)	I-O (0,15 0,35 0,30)	0	0
C3	0	0	Çi-O (0,30 0,35 0,35)	Çi-I (0,15 0,30 0,35)	I-O (0,15 0,35 0,30)	0
C4	I-O (0,15 0,35 0,30)	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

Tablo 6. Genel Tercih Göstergelerinin (İndekslerinin) Hesaplanması (Calculation of overall preference indexes)

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

PROMETHEE I kısmi sıralamaya göre $\Phi^+(A3) > \Phi^+(A1)$, $\Phi^-(A3) < \Phi^-(A1)$ ve $\Phi^+(A3) > \Phi^+(A2)$, $\Phi^-(A3) < \Phi^-(A2)$ olduğu için Birleşik Tasarım (A3) diğer (A1, A2) tasarımlardan daha iyidir. Nicel Tasarım (A1) ise $\Phi^+(A1) = \Phi^+(A2)$, $\Phi^-(A1) < \Phi^-(A2)$ olması nedeniyle Nitel Tasarım (A2)'den daha iyidir. PROMETHEE I kısmi sıralamaya göre Birleşik Tasarım (A3) diğer tüm tasarımlardan, Nicel Tasarım (A1)'de 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 durumları, birbirinden farksız olan alternatiflerin ve birbirleriyle karşılaştırılmayacak olan alternatiflerin belirlenmesini sağlar) sonuçlar verirken; bu çalışmada elde edilen sonuçlar karar matrisine bağlı olarak PROMETHEE II ile aynı çıkmıştır.

Tablo 7. Genel tercih indeksleri (Overall preferences)

Alt.	A1	A2	A3	Φ^+
A1	-	0	0	0
A2	0	-	0	0
A3	0,012	0,025	-	0,037
Φ^-	0,012	0,025	0	

Tablo 8. Alternatifler için net üstünlük değerleri (Flow values for alternatives)

Alternatifler	Φ^+	Φ^-	Φ^{net}
A1	0	0,012	-0,012
A2	0	0,025	-0,025
A3	0,037	0	0,037

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada kokpit ekibi ile hava aracı sistemleri arasındaki etkileşimin kalitesini artırmak için kokpit arayüzlerinin kullanılabilirlik açısından geliştirilmesi, değerlendirilmesi ve sıralanması problemi ele alınmıştır. Kullanılabilirlik değerlendirme yöntemlerinin uygulanmasında çeşitli güçlükler vardır. Bu yöntemlerle birbirlerine çelişen çok çeşitli kullanılabilirlik kriteri karşılaştırılmasına rağmen, literatürde sunulan KDT'ler genellikle analitik esaslara dayanmamaktadır. KDT'nin uygulanmasında değerlendiricinin karakteristik özellikleri, değerlendirici sayısı ve değerlendirme hedefleri değerlendirme sonuçlarını etkileyebilir. Bu çalışmada arayüz tasarım modellerinin karşılaştırılması için çok kriterli bir model önerilmiş ve önerilen modelde ANP ve bulanık PROMETHEE yöntemleri kullanılmıştır. Önerilen modelde mevcut modellerdeki öznellikler büyük oranda giderilerek bu yöntemlerin bütünlük olarak kullanılabilirlik değerlendirmesinde nasıl uygulanabileceği gösterilmiştir. Yapılan çalışmada kararlardaki belirsizlik ve öznellik dilsel değerlendirme değişkenleri ile bulanık sayılar kullanılarak giderilmeye çalışılmıştır.

Gelecek arayüz tasarımları analog göstergeler yerine dijital sistemleri gerektirmektedir. Ancak analog göstergelerden mevcut araçların modernizasyonunda veya dijital sistemlerin yedekleri olarak yararlanılabilir. Önerilen yaklaşım, insan hata ve kaza riski olan tüm sistemlerin arayüz tasarımında kullanılabilir niteliktedir. Ayrıca en basit göstergeden en karmaşık yapıda olan arayüzlere kadar; "göstergeler, kokpitler, nükleer reaktör kontrol istasyonları vb." güvenliğin ön planda olduğu tüm insan-makine sistem etkileşimlerinde arayüz kullanılabilirlik değerlendirmesinde sistemin yapısına uygun olarak yapılacak değişikliklerle önerilen yöntem uygulanabilir.

NOT:

Bu çalışmada belirtilen hususlar Türk Silahlı Kuvvetlerinin resmi görüşü olmayıp, yazarların bireysel görüşü ve değerlendirmesidir.

KAYNAKLAR

1. Strauch, B., "Automation and Decision Making—Lessons from the Cali Accident", **Proc. Hum. Factors and Ergonomics Soc. 41st Annu. Meet.** Albuquerque, NM: Hum. Factors and Ergon. Soc., 195–199, 1997.
2. Funk, K. Suroteguh, C. Wilson, J. and Lyall, B., "Flight deck automation and task management", **Proc. of 1998 IEEE Int. Conf. on Syst. Man and Cybern.** San Diego, Cilt 1, 863–868, 1998.
3. Sarter, N. Woods, D., Billings, C., "Automation surprises", Salvendy, G. (Eds.), **Handbook of human factors and ergonomics.** 2nd Ed. New York: Wiley, 1926–1943, 1997.
4. Singer, G., "Filling the gaps in the human factors certification net", Dekker, S., Hollnagel, E. (Eds.), **Coping with Computers in the Cockpit.** Brookfield, VT: Ashgate, 87–107, 1999.
5. Billings, C.E., **Aviation automation: The search for a human-centered approach.** Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc, 1997.
6. Smith, C., "Design of the Eurofighter human machine interface", **Air and space Europe.** Amsterdam: Elsevier Science, Cilt 1, No 3, 54–59, 1999.
7. Previc, F.H., Ercoline, W.R., "The outside-in attitude display concept revisited", **Int. J. Aviat. Psychol.**, 377-401, 2000.
8. Tlauka, M., Stanton, D. and Kenna, F.P. **Dual Displays.**, Dept. of Psycholo. Univ. of Leicester, 2000.
9. Torenyliet, G.L., Jamieson, G.A., Vicente, K.J., "Making the most of ecological interface design: the role of individual differences", **Appl. Ergon.**, 31, 395-408, 2000.
10. Kima, G.J., Hanb, S.H., Yangb, H., Choa, C., "Body-based interfaces", **Appl. Ergon.**, Cilt 35, 263-274, 2004.
11. Jones, G.R., Hooper, R.H., "The effect of single- or multiple-layered garments on interface pressure measured at the backpack-shoulder interface", **Appl. Ergon.**, Cilt 36, 79-83, 2005.
12. Wellings, T., Williams, M., Tennant, C., "Understanding customers' holistic perception of switches in automotive human-machine interfaces", **Appl. Ergon.**, Cilt 41, 8-17, 2010.
13. Rubens, E.M., Trotter, M.J., Lenné, M.G., "Effects on driving performance of interacting with an in-vehicle music player: A comparison of three interface layout concepts for information presentation", **Appl. Ergon.**, Cilt 42, 583-591, 2011.
14. Rydström, A., Broström, R., Bengtsson, K.J., "A comparison of two contemporary types of in-car multifunctional interfaces", **Appl. Ergon.**, Cilt 43, 507-514, 2012.
15. Lee, K.W., Lee, Y.C., "Design and validation of an improved graphical user interface with the 'Tool ball'", **Appl. Ergon.**, Cilt 43, 57-68, 2012.
16. Virzi, R.A., "Usability inspection methods", Helander, M., Landauer, T., Prabhu, P. (Eds.), **Handbook of Human-Computer Interaction.**, New York: Elsevier, 705–715, 1997.
17. Dağdeviren, M, Eren, T., "Analytic hierarchy process and use of 0-1 goal programming methods in selecting supplier firm", **J. Fac. Eng. Archit.**, Gazi Univ. Cilt 16, 41-52, 2001.
18. Bozdağ, C.E., Kahraman, C., Ruan, D., "Fuzzy group decision making for selection among computer integrated manufacturing systems", **Comp. Ind.**, Cilt 5, 13-29, 2003.

19. Büyüközkan, G., Ertay, T., Kahraman, C., Ruan, D., "Determining the importance weights for the design requirements in the house of quality using the fuzzy analytic network approach", **Int. J. Intel. Syst.**, Cilt 19, 443-461, 2004.
20. Xiaohua, W., Zhenmin, F., "Sustainable development of rural energy and its appraising system in China", **Renew. Sustain. Energ.**, Cilt 6, 395-404, 2002.
21. Yedla, S., Shrestha, R.M., "Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delhi", **Transp. Res.**, Cilt 37, 717-729, 2003.
22. Aras, H., Erdogmus, S., Koc, E., "Multi-criteria selection for a wind observation station location using analytic hierarchy process", **Renew. Energ.**, Cilt 29, 1383-1392, 2004.
23. Tolga, E., Demircan, M.L., Kahraman, C., "Operating system selection using fuzzy replacement analysis and analytic hierarchy process", **Int. J. Prod. Econ.**, Cilt 97, 89-117, 2005.
24. Kim, P.P., Lee K.J, Lee B.W., "Selection of an optimal nuclear fuel cycle scenario by goal programming & analytic hierarchy process", **Ann. of Nucl. Energy**, Cilt 26, 449-460, 1999.
25. Wolfslehner, B., Vacik, H., Lexer, M.J., "Application of the analytic network process in multi-criteria analysis of sustainable forest management", **For. Ecol. Manag.**, Cilt 207, 157-170, 2005.
26. Saaty, T.L., Takizawa, M., "Dependence and independence: from linear hierarchies to nonlinear Networks", **Eur. J. Oper. Res.** 26, 229-237, 1986.
27. Saaty, T.L., **Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process**, RWS Publications, Pittsburgh, 1996.
28. Yüksel, İ., Dağdeviren, M., "Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis-A case study for a textile firm", **Inf. Sci.**, Cilt 177, 3364-3382, 2007.
29. Ayağ, Z., Özdemir, R.G., "A hybrid approach to concept selection through fuzzy analytic network process", **Comp. Ind. Eng.**, 56, 368-379, 2009.
30. Lee, H., Lee, S., Park, Y., "Selection of technology acquisition mode using the analytic network process", **Math. Comp. Model.**, Cilt 49, 1274-1282, 2009.
31. Boran, S., Göztepe, K., "Development of a fuzzy decision support system for commodity acquisition using fuzzy analytic network process", **Expert Syst. Appl.**, Cilt 37, 1939-1945, 2010.
32. Vinodh, S., Ramiya, R.A., Gautham, S.G., "Application of fuzzy analytic network process for supplier selection in a manufacturing organisation", **Expert Syst. Appl.**, Cilt 38, 272-280, 2011.
33. Shyur, H.J. "COTS evaluation using modified TOPSIS and ANP", **Appl. Math. Comp.**, Cilt 177, 251-259, 2006.
34. Le Têno, J., F., 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.**, Cilt 109, 522-529, 1988.
35. Goumas, M., Lygerou, V., "An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects", **Eur. J. Oper. Res.**, Cilt 123, 606-613, 2000.
36. Geldermann J., Spengler, T., Rentz, O., "Fuzzy outranking for environmental assessment, case study: Iron and steel making industry", **Fuzzy Set Syst.**, Cilt 115, 45- 65, 2000.
37. Bilsel, R., U., Büyüközkan, G., Ruan, D., "A fuzzy preference-ranking model for a quality evaluation of hospital websites", **Int. J. Intel. Syst.** Cilt 21, 1181-1197, 2006.
38. Liu P., Guan Z., "Evaluation research on the quality of the railway passenger service based on the linguistic variables and the improved PROMETHEE-II method", **J. Comp.**, Cilt 4, 265-270, 2009.
39. Yılmaz, B., Dağdeviren, M., "Comparative analysis of PROMETHEE and fuzzy PROMETHEE methods in equipment selection problem", **J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.**, Cilt 25, No 4, 811-826, 2010.
40. Arıkan, F., Küçükçe, Y.S., "Satın alma faaliyeti için tedarikçi seçimi-değerlendirme problemi ve çözümü", **J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.**, Cilt 27, No 2, 255-264, 2012.
41. Aydoğan, E.K., Soylu, M.Y., Gencer, C., Çetin, S., Soysal, M., Bektaş, O., Yüce, E., Öztürk, Y., Gökırmak, Y., Sağıroğlu, Ş., "IPv4'den IPv6'ya geçiş için AHP modeli", **J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.**, Cilt 26, No 3, 701-709, 2011.
42. DuBois D., Prade H., "Operations on fuzzy numbers", **Int. J. Syst Sci.**, Cilt 9, 613- 626, 1978.
43. Şenol, M.B. Dağdeviren, M. Kurt, M. and Çilingir, C., "Display panel design of a general utility helicopter by applying quantitative and qualitative approaches", **Hum. Factors and Ergon. in Manuf.**, Cilt 20, No 1, 73-86, 2010.
44. Yager, R. R., "A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval", **Inf. Sci.**, Cilt 24, 143-700, 1981.

