

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ'NDE  
ANALİTİK AĞ SÜRECİ VE BULANIK MANTIK  
UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**End.Müh. Rabia CANBOLAT**

**Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Semra BORAN**

**Haziran 2008**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİNDE  
ANALİTİK AĞ SÜRECİ VE BULANIK MANTIK  
UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

End.Müh. Rabia CANBOLAT

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 11/06/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd.Doç.Dr. Semra BORAN  
Jüri Başkanı



Yrd.Doç.Dr. H.Reşit YAZGAN  
Üye



Yrd.Doç.Dr. Kasım BAYNAL  
Üye



## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca beni engin bilgisiyle, sabır ve özveriyle yönlendiren değerli danıőmanım Yrd.Doç.Dr. Semra BORAN'a, tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Metin DAğDEVİREN'e, burslarıyla beni onurlandıran TÜBİTAK Bilim ve İnsan Destekleme Daire Başkanlığına, iş hayatıyla eğitimimi bir arada sürdürmemde kolaylık sağlayan yöneticilerime, gösterdikleri iyi niyet ve destekleri için Asaş Alüminyum Kalite Müdürü Sn.Esra ŐAHBAZOęLU'na, sevgileriyle beni güçlü kılan aileme ve arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Rabia CANBOLAT

Haziran 2008

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
TEORİK ALTYAPI.....	5
2.1. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA).....	5
2.1.1. HTEA'nın tanımı.....	5
2.1.2. HTEA'nın tarihçesi ve literatür taraması.....	6
2.1.3. HTEA'nın çeşitleri.....	8
2.1.3.1. Tasarım HTEA.....	9
2.1.3.2. Proses HTEA.....	9
2.1.3.3. Sistem HTEA.....	10
2.1.3.4. Servis HTEA.....	10
2.1.4. HTEA'nın yararları.....	10
2.1.5. HTEA'nın uygulama süreci.....	10
2.2. Analitik Ağ Süreci(AAS) .....	15
2.2.1. Analitik hiyerarşi prosesi(AHP) ve analitik ağ süreci(AAS) yapısı.....	15

2.2.2. AAS yönteminin uygulama alanları ve literatür taraması.....	17
2.2.3. AAS yönteminin uygulama adımları.....	18
2.2.3.1. AAS kriterlerinin, alt kriterlerinin tanımlanması.....	18
2.2.3.2. AAS ilişkilerinin tanımlanması.....	19
2.2.3.3. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması.....	20
2.2.3.4. AAS’de matris işlemleri.....	22
2.2.3.5. En uygun alternatifin seçimi.....	24
2.3. Bulanık Kümeler ve Bulanık AAS.....	24
2.3.1. Bulanık mantığın gelişimi ve literatür taraması .....	24
2.3.2. Bulanık kümeler.....	25
2.3.2.1. Bulanık kümelerin özellikleri.....	26
2.3.2.2. Bulanık kümelerde temel küme işlemleri.....	28
2.3.3. Bulanık AAS ve Chang’in derece analizi metodu.....	28

### BÖLÜM 3.

#### ALÜMİNYUM TESİSİNDE HTEA VE ÖNERİLEN MODELLERİN

UYGULANMASI.....	33
3.1. HTEA Uygulaması .....	33
3.1.1. Uygulama alanı.....	33
3.1.2. Alüminyum tesisinde üretim süreci ve HTEA uygulaması....	34
3.1.2.1. Olası hata türlerinin tespiti .....	36
3.1.2.2. HTEA formunun doldurulması ve puanlama.....	38
3.1.3. HTEA uygulama sonuçları ve yorumlanması.....	40
3.2. HTEA’da AAS Uygulaması.....	40
3.2.1. AAS modelinin oluşturulması.....	40
3.2.2. Karşılaştırmalı matrisler .....	44
3.2.3. Ağırlıklandırılmamış süpermatris.....	45
3.2.4. Küme ağırlıkları matrisi.....	46
3.2.5. Ağırlıklandırılmış süpermatris.....	47
3.2.6. Limit matris.....	48
3.2.7. AAS-HTEA uygulama sonuçları ve yorumlanması.....	49
3.3. Bulanık AAS-HTEA Uygulaması.....	50
3.3.1. Chang’in derece analizi metodu.....	50

3.3.2. Bulanık AAS-HTEA uygulama sonuçları ve yorumlanması ..	56
3.4. Karşılaştırma.....	57
3.4.1. Geleneksel HTEA.....	57
3.4.2. AAS-HTEA.....	58
3.4.3. Bulanık AAS-HTEA .....	59
3.4.4. Sonuçların 2007 yılı hata istatistikleri ile kıyaslanması.....	59
BÖLÜM 4.	
SONUÇLAR.....	62
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR.....	66
EKLER.....	73
EK-A. Anket.....	73
EK-B. Anket yanıtları.....	78
EK-C. Karşılaştırmalı matrisler için Superdecision verileri.....	82
EK-D. Karşılaştırmalı matrisler .....	93
EK-E. Superdecision paket programından elde edilen sonuçlar.....	101
EK-F. Bulanık-AAS MATLAB çözümü sonuçları.....	104
ÖZGEÇMİŞ.....	107

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AAS	: Analitik Ağ Süreci
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi / Analytic Hierarchy Process
AMDEC	: Hata Şekli, Etkileri ve Kritiklik Analizi
ANP	: Analytic Network Process
FMEA	: Failure Mode and Effect Analysis
HTEA	: Hata Türü ve Etkileri Analizi
İPK	: İstatistiksel Proses Kontrol
MIL-STD	: Askeri Standard
MIL-P	: Askeri Prosedür
NASA	: Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
RÖS	: Risk Öncelik Sayısı
$W_1$	: Hata kriterlerinin önem dereceleri
$W_2$	: Hata tipine hata kriterlerinin etkisi
$W_3$	: Hata kriterlerinin iç bağımlılığı
$W_4$	: Hata tiplerinin iç bağımlılığı
$W_C$	: Hata kriterlerinin bağımlı önceliği
$W_A$	: Hata tiplerinin bağımlı risk önceliği
$W_{ANP}$	: Hata tiplerinin toplam risk önceliği

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	AAS’de dışsal bağımlılık.....	20
Şekil 2.2.	AAS’de içsel bağımlılık.....	20
Şekil 2.3.	Karşılaştırmalı matris yapısı.....	22
Şekil 2.4.	Ağırlıklandırılmamış süpermatris yapısı.....	23
Şekil 2.5.	Önem derecelerinin dilsel skalası.....	29
Şekil 2.6.	$M_1$ ve $M_2$ arasındaki kesişim.....	31
Şekil 3.1.	Alüminyum tesisi genel iş akış şeması .....	35
Şekil 3.2.	Kriterler arasındaki etkileşimler.....	42
Şekil 3.3.	AAS Superdecision modeli.....	43
Şekil 3.4.	Hata tipleri arasında içsel bağımlılık.....	53
Şekil 3.5.	2007 hata istatistiği (1 ton üzeri müşteri şikayetlerinin hata tiplerine göre dağılımı).....	60



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Örnek HTEA tablosu.....	12
Tablo 2.2.	HTEA şiddet değerlendirme tablosu.....	13
Tablo 2.3.	HTEA olasılık değerlendirme tablosu.....	13
Tablo 2.4.	HTEA keşfedilebilirlik değerlendirme tablosu.....	14
Tablo 2.5.	AAS yönteminde kullanılan derecelendirmeler.....	21
Tablo 2.6.	GAV hesaplama örnek tablosu.....	21
Tablo 2.7.	Önem derecelerinin dilsel skalası.....	30
Tablo 3.1.	HTEA formu.....	39
Tablo 3.2.	İkili karşılaştırmalar.....	44
Tablo 3.3.	Ağırlıklandırılmamış süpermatris.....	46
Tablo 3.4.	Küme ağırlıkları matrisi.....	47
Tablo 3.5.	Ağırlıklandırılmış süpermatris.....	48
Tablo 3.6.	Limit matris .....	49
Tablo 3.7.	AAS ile elde edilen sonuç.....	49
Tablo 3.8.	$W_1$ matris yapısı.....	51
Tablo 3.9.	$W_1$ matrisi.....	52
Tablo 3.10.	$W_2$ matrisi.....	52
Tablo 3.11.	Hata kriterleri içsel bağımlılık matrisi yapısı.....	52
Tablo 3.12.	$W_3$ matrisi.....	53
Tablo 3.13.	Hata tipleri arasında içsel bağımlılık matrisi yapısı.....	53
Tablo 3.14.	$W_4$ matrisi.....	54
Tablo 3.15.	$W_C$ matrisi.....	54
Tablo 3.16.	$W_A$ matrisi.....	55
Tablo 3.17.	$W_{ANP}$ matrisi.....	55
Tablo 3.18.	Bulanık AAS ile elde edilen sonuç.....	56
Tablo 3.19.	Karşılaştırmalı sonuç.....	57

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), Analitik Ağ Süreci (AAS), Bulanık AAS

Teknolojik gelişmelerin rekabette meydana getirdiği artış; kalite ve beraberinde sürekli iyileştirme tekniklerini ön plana çıkarmıştır. Sistem, tasarım, süreç ve hizmet aşamalarında hataları ortaya çıkmadan tanımlamayı ve gidermeyi amaçlayan Hata Türü ve Etkileri Analizi de bu tekniklerden biridir.

Bu çalışmada risk önceliklerini değerlendirme ve çok ölçütlü karar verme proseslerine destek sağlamak için iki bütünleşik yaklaşım tanımlanmıştır.

Birinci yaklaşımda; Hata Türü ve Etkileri Analizi'nde en riskli hata türünü seçmek için Analitik Ağ Süreci uygulaması yapılmıştır. Karar probleminin karmaşık yapısı, çok ölçütlü bir problem olması, karşılıklı etkileşimler ve niteliksel ölçütler içermesi nedeniyle çözüm yöntemi olarak Analitik Ağ Süreci tercih edilmiştir.

İkinci yaklaşımda; Hata türü ve Etkileri Analizi'nde Bulanık Analitik Ağ Süreci uygulaması yapılmıştır. Üründeki risk faktörlerinin ve ilişkilerinin belirsizliği sebebiyle, bulanık ortamda risk değerlendirmesi yapmak zordur. Geliştirilen teknikte risk değerlendirmesi sürecinde belirsizlikle başa çıkabilmek için hata türleri ve hata kriterleri arasındaki ilişkilerin gösteriminde bulanık mantık yaklaşımına başvurulmuştur.

Geleneksel Hata Türü ve Etkileri Analizi ile geliştirilen her iki modele göre bir alüminyum firmasında yapılan uygulamalara yer verilmiş, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Çözüm süreci sonunda Hata Türü ve Etkileri Analizi'nde yer alan hata türlerinin ağırlıkları elde edilmekte ve böylece ilgili süreç için en riskli hata türü tespit edilebilmektedir.

# **ANALYTIC NETWORK PROCESS AND FUZZY LOGIC APPLICATIONS IN FAILURE MODE& EFFECTS ANALYSIS**

## **SUMMARY**

**Key Words:** Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Analytic Network Process (ANP), Fuzzy ANP

The increase in competition which came with technological improvements has made important quality and quality improvement techniques. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) is one of these techniques that is used to identify and eliminate potential failures of system, design, process and service before they occur.

This study describes two integrated approach developed for supporting risk priority evaluating and multi-criteria decision making processes.

Firstly, an Analytic Network Process application is done to choose the most risky failure mode. Analytic Network Process is preferred as solution method because the decision problem has the entire complexity, multi-criteria structure, interdependencies and qualitative criteria.

Secondly, Fuzzy Analytic Network Process application is done for Failure Mode and Effects Analysis. Owing to the typical vagueness or imprecision of risk factors and relationships in a product, evaluating risk priority is becoming more difficult, particularly in a fuzzy environment. In developed approach, for dealing with the vagueness in the risk evaluating processes, fuzzy logic approaches are applied to represent the relationships between failure modes and criteria.

‘Conventional Failure Mode and Effect Analysis’ technique and two proposed techniques have applied in an aluminium company to illustrate the proposed frameworks. Obtained results have been evaluated and compared.

The weights of the failure modes are obtained after accomplishing the solution process, and therefore most risky failure mode is determined.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Sürekli gelişen ve değişen küresel rekabet ortamına ayak uydurabilmek için toplam kalite anlayışı, işletmeler için neredeyse bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu çerçevede yüksek kalite ve sürekli iyileştirme felsefesinin yaygınlaşması yeni strateji, teknik ve uygulamalarının önünü açmıştır. Bu yaklaşımlardan biri olan Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA); kalitenin üretim sonrası kontrollerle sağlanması yerine üretim sürecinde oluşturularak, süreç boyunca korunmasını esas alır. Tasarım ve proses HTEA teknikleri, ürünün/hizmetin ilk aşaması olan tasarımdan son aşamaya kadar olası hataların tespiti ve önlenmesini sağlar. Böylece kayıp, hurda, fire, kalitesiz ürün, gereksiz stok ve gecikmeler gibi olumsuzluklar da ortadan kalkar. Dolayısıyla maliyetler düşer ve müşteri beklentilerini karşılamada gelişme kaydedilir.

“Hataları ayıklamak” yerine “hata yapmamak” ilkesinin geçerli olduğu önleyici bir teknik olan HTEA’da; hatalar ortaya çıkma sıklığı, ortaya çıkarsa etkisi ve ortaya çıkması durumunda bulunabilirliğine göre hesaplanan risk öncelik göstergesine göre değerlendirilir. Bu değerlendirmeler neticesinde en riskli hata türünden başlayarak hataların sistemden tümüyle çıkarılması amaçlanır. Bir hata türünün ortadan kaldırılması diğer hata türleri üzerinde de olumlu sonuçlara yol açabilmektedir. Ancak geleneksel HTEA yönteminde hata türleri, hata sebepleri, hata kriterleri ve alt kriterleri arasındaki bu çok yönlü ilişkiler ihmal edilmektedir.

HTEA’nın yazılı belgeler haline getirilmesinde genellikle özel bir şekilde geliştirilmiş tablolar kullanılır. Ancak, sistemlerin ayrıntılı analizleri sırasında tablo kullanımında bazı sorunlarla karşılaşılır. Bu sorunlar şöyle sıralanabilir: [40]

- a. Yöntem, çoğu zaman sistem veya ürünü bir bütün olarak ele alıp hata türleri ve etkilerini modüler esaslarda belirlemek yerine, daha ayrıntılı olarak bileşen, alt-sistem esaslarında ele alır. Bu durumda tablolarla aynı modeller ve/veya ayrı düzeylerde yapılan analizleri bir araya getirme güçlüğü ortaya çıkar. Bu sorun özellikle karmaşık sistemler göz önüne alındığında önemli olmaktadır.
- b. Hata türleri, nedenleri ve etkileri için düzeltici önlemlerin oluşturulmasında sözcüklerle ilgili sorunlar ortaya çıkar. Bir sözcüğün, tablonun bir satırında hata nedeni, diğerinde hata türü olarak yer alması karışıklığa yol açar. Örneğin; sözcük bileşenle ilgili olduğu zaman bir etki, montajla ilgili olduğu zaman bir hata şekli olarak görülebilir.
- c. Tablolarda sonuçların izlenmesi güçtür. Özellikle, hata türünün nedenleri veya etkilerini izlemek ve/veya birbirleriyle ilgi kurmada zorluk yaşanır.

HTEA'nın karmaşık ve çok kriterli yapısı, bir seçim problemi niteliği taşır. HTEA'da risk önceliklendirmesinin efektif yapılabilmesi için karar aşamasında tüm bileşenler ve aralarındaki ilişkilerin göz önünde bulundurulması gerekir. HTEA yapısının tüm unsurlarıyla değerlendirilmesi ve yukarıda belirtilen tablo tekniğinde gözlenen problemlerden biraraya getirme, izleme ve ilişkilendirme ile ilgili sorunlara çözüm getirilmesi amacıyla bu çalışma kapsamında HTEA'da yeni yöntemlerin uygulamaları araştırılmıştır.

Bu çalışmada geleneksel HTEA yöntemine iki alternatif model geliştirilmiştir. Anılacak ilk yöntem olan Analitik Ağ Süreci (AAS), Thomas L.Saaty tarafından geliştirilen karar verme sürecinde faktörler arasındaki ilişkileri dikkate alan ve problemin tek eksene bağlı kalarak modellenmesi zorunluluğunu ortadan kaldıran bir tekniktir. AAS yönteminde karar verme problemi bir ağ yapısı ile modellenmekte ve modelleme aşamasında faktörler arasındaki bağımlılıklar ve faktör iç bağımlılıkları dikkate alınmaktadır. [81] AAS, karar vericilerin sezgilerini, duygularını, yargularını ve bellekteki bilgilerini, yani karar sonucuna etkisi olan faktörleri hiyerarşiler şeklinde organize eden bir sorun çözme yapısıdır. Verilen kararların daha gerçekçi olması için karar modellerinin önemli somut ve soyut, niteliksel ve niceliksel faktörleri de içermesi ve ölçmesi gerekir. Analitik Ağ Süreci tüm bu karmaşık ilişkileri barındırabilen bir ağ yapısıdır. Hata risklerinin

tespitinde karşılaşılan benzer yapıdaki karmaşık karar problemi, pek çok unsurun eşzamanlı değerlendirilmesini gerektirir. Bu nedenle HTEA’da, AAS’nin ağ yapısı kullanılarak risk unsurlarının tamamının kararda yer alması sağlanabilir. Bu kapsamda, HTEA’da risk faktörlerinin derecelendirilmesi karar problemi olarak düşünülmüş ve kriter sayısının fazlalığından dolayı Analitik Ağ Süreci yöntemi uygulanmıştır. AAS yönteminin tercih edilmesindeki sebepler:

- çok sayıda hata kriteri ve alternatifinin var olması,
- kriterlerin birbirlerinden bağımsız olmayıp birbirlerini etkilemesi,
- kriterler arasında karşılıklı etkileşimlerin bulunmasıdır.

Çalışmada kullanılan diğer metot ise bulanık AAS’dir. Bulanık mantıkta temel amaç insanların belirsiz ve kesin olmayan bilgiler ışığında tutarlı ve doğru kararlar vermelerini sağlayan düşünme ve karar mekanizmalarının oluşturulmasıdır. Geleneksel AAS’de, uzmanların elemanlar arasında ikili karşılaştırmalar yapması istenir ve bu karşılaştırma sonuçlarının yer aldığı karşılaştırmalı matrisler oluşturulur. Bu aşamada karar vericinin yargılarının belirsiz ve kesinliği/doğruluğu tam olarak bilinemeyen veriler olması nedeniyle belirsizliği gidermek için bulanık mantık kullanılabilir.

Pek çok kriter ve alt kriteri olan bir ağ yapısına sahip olan HTEA’da aynı zamanda risk değerlendirmesinde bulanık ifadeler söz konusudur. Bu iki anahtar kelimedenden yola çıkarak bulanık AAS’nin HTEA’ya uygulanması olanağı araştırılmıştır. Bulanık AAS’nin şu HTEA uygulamasında tercih edilmesinin nedenleri: [60]

- İkili karşılaştırmalardaki belirsiz ve kesin olmayan ifadeler daha iyi modellenebilir,
- Hem tutarlı hem de tutarsız yargılardan öncelikler türetilebilir,
- Karar vericinin rolü daha kolaydır, karşılaştırmalı değerlendirme geleneksel HTEA’daki genel değerlendirmeye kıyasla çok basittir.

Bu çalışmanın birincil amacı; geleneksel HTEA’da yapılan analizlerde görülemeyen; ilgili hata türünün sebepler, olasılıklar, etkiler, bulunabilirlik ve diğer hata türleri ile aynı anda ilişkilendirileceği bir model geliştirmektir. Böylece yapılacak ortak önleyici faaliyetlerle bir yerine birden fazla hatanın sistemden elimine edilmesi veya ortaya

çıkışının azaltılması mümkün olacaktır. Bu kapsamda HTEA’da yeni bir model oluşturulmuş ve AAS ile çözümlenmiştir. Böylece ihtiyaç duyulan bütünleşik model yapısı kurulmuş ve bu ilişkiler ağının hataların ortaya çıkmasındaki etkisi göz önünde bulundurularak konsolide bir risk değeri tespit edilmiştir. Geliştirilen yöntem, bir hata şekli yerine birden fazla hata şeklinin ve bir hata şeklinin birden fazla sistem düzeyindeki etkisinin aynı anda görülebilmesi, hata önleme çalışmalarında istenen sonuçların elde edilebilmesi için kritik derecede büyük önem taşımaktadır.

Çalışmanın ikincil amacı; HTEAda risk değerlendirmesi yapan karar vericiye kolaylık sağlamaktır. HTEA tablolarında kullanılan derecelendirme yöntemi hata türlerinin tekil değerlendirilmesini amaçlar. Tüm kümeler ve küme elemanlarının dahil olduğu hata ilişkileri yapısı kullanıcı tarafından herhangi bir destek metot kullanılmaksızın bütün olarak değerlendirilerek nihai bir risk değeri atanır. Geliştirilen modelde ise AAS tekniği ile karar vericinin sadece iki küme elemanını birbiriyle karşılaştırması istenmektedir. Ayrıca; uygulanan modelde bulanık mantık kullanımı ile “insana özgü tecrübe ile öğrenme” olayının modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanınmıştır. [39]

Bir diğer amaç ise geleneksel HTEA ve geliştirilen iki yöntemin karşılaştırılarak; önerilen metodların pratik sonuçlarının, farklarının ve üstünlüklerinin görülebilmesidir.

Tezin içeriği; teorik altyapı ve uygulama aşaması olarak gruplanmıştır. İkinci bölümde ‘Teorik Altyapı’ başlığı altında kullanılan metotlar; Hata Türü ve Etkileri Analizi, Analitik Ağ Süreci ve Bulanık Analitik Ağ Süreci (Chang’in Derece Analizi) hakkında bilgi verilmekte, üçüncü bölümde söz konusu tekniklerin uygulamaları sunulmaktadır. Dördüncü ve son bölümde ise sonuç ve değerlendirme yer almaktadır.

Ağ yapısını kullanan bir çoklu karar tekniği olan AAS’nin ve belirsiz kavramların modellenebilmesine imkan tanıyan bulanık mantığın yukarıda bahsedilen sebepler sayesinde HTEA çalışmasının etkinliğini artırması ve hata önleme uygulamalarının teoriden pratiğe geçişinde kolaylık sağlaması mümkündür.

## **BÖLÜM 2. TEORİK ALTYAPI**

### **2.1. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)**

#### **2.1.1. HTEA'nın tanımı**

Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) bir ürünün tasarımı ve üretimi ile ilgili potansiyel (muhtemel) hata neden ve çeşitlerini tanımlamak, değerlendirmek ve gözlemlerle ilgili detayların belgelendirilmesi sistemidir. Diğer bir tanımlama ile, “bir ürünün üzerinde meydana gelebilecek her türlü hatanın sistematik analizidir.” şeklinde ifade edilebilir. [20]

MIL-STD 1629A(1984) standardındaki tanımı “sistemdeki her bir olası hata şeklinin, sistemdeki sonuçlarını veya etkilerini belirlemek ve önemlerine göre her bir hata şeklini sınıflandırmak için analiz eden bir prosedür” şeklindedir. Stamatis'in tanımı “tasarım, proses, sistem ve hizmet ile ilgili bilinen ve/veya olası hataları, yanlışları ve problemleri müşteriye ulaşmadan belirlemeyi, tanımlamayı ve ortadan kaldırmayı amaçlayan mühendislik tekniği” şeklinde daha da genişletmiştir. [84]

HTEA hata ortaya çıkmadan ve hatayı beklemediği için önlem almamış olan müşteriye ulaşmadan önce belirlenip giderilmesini sağlayan bir hata analiz tekniğidir. Bu özelliği ile hataları ortaya çıkarma amacını taşıyan kalite kontrol yöntemlerinden farklılık gösterir. HTEA; amacı hataları bulmak değil, öngörmek ve önlemek olan bir koruyucu tekniktir. Aynı zamanda bir karar sürecidir. Olası hata türlerinin, nedenleri ve etkilerinin neler olacağı; muhtemel koşullar değerlendirilerek karar verilir. Ancak bu kararlar belirsizlik altında verildiğinden bu durumda HTEA, risk altında karar verme yöntemi olarak da tanımlanır. [10] HTEA'nın riskleri azaltma yollarını arayan bir teknik olması, işin en iyi



şekilde yapılmasını bir sonraki aşamaya hatasız ulaşılmasını sağlayacaktır. HTEA ile olası hataların önlenmesi sayesinde tasarımlar prosesler ve sistemler daha güvenilir olacaktır.

HTEA tekniğinin kullanım amaçları şu şekilde özetlenebilir [69]:

- Bir ürünün tasarım ve imalatıyla ilgili olası hata şekil ve nedenlerini belirlemek
- Olası hatanın ortaya çıkma riskini ortadan kaldırmak veya azaltacak faaliyetleri belirlemek
- Uygulama sürecini yazılı hale getirmek

HTEA; “ilk defada doğruyu yapma” felsefesini yerleştirmek, hızla değişen müşteri isteklerini karşılayabilmek, gittikçe artan yaptırımlara uymak, düşük fiyatlarda yüksek ürün kalitesini sağlamak için kullanılır. [40]

### **2.1.2. HTEA'nın tarihçesi ve literatür taraması**

HTEA tekniği Amerikan ordusu tarafından geliştirilmiştir. Bu konuda hazırlanmış ilk prosedür ‘Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis’ adıyla yayınlanan 9 Kasım 1949 tarihli MIL-P-1629 (Military Procedure)dur. İlk olarak sistem ve ekipman hatalarının değerlendirilmesi için kullanılmış bir güvenilirlik saptama tekniğidir.

Daha sonra HTEA, 1960-1965 yılları arasında NASA tarafından ay seyahati programlarında da kullanılmıştır. Uzun bir süre gizli tutulan teknik 1970-1975 yılları arasında ABD uçak sanayinde, 1972 yılında Ford Motor Şirketi bünyesinde, 1975 yılında bilgisayar üretiminde ve Japon NEC firmasında ilk endüstriyel uygulamalarını bulmuştur. 1980 yılında yayınlanan MIL-STD 1629A (Hata Şekli, Etkileri ve Kritiklik Analizi Uygulaması için Prosedür) ile HTEA'nın genel tanımı yapılmıştır.

1988 yılında Amerika'nın üç büyük otomotiv şirketi olan Chrysler, Ford ve General Motors tarafından kabul edilerek genel standart olarak benimsenmiştir. Teknik, Şubat 1993'ten itibaren AIAG (The Automotive Industry Action Group) ve ASQC (The American Society for Quality Control) tarafından da benimsenmiştir. 1985 yılından beri Türkiye'de de uygulanmaktadır. [30]

Kara-Zaitri(1992), HTEA’da önem derecelerinin belirlenmesinde mühendislere yardım etmiştir. Glichrist (1993) ise HTEA’da maliyet analizini de içeren bir model önermiştir. Kasa ve Boran (1993) çalışmalarında HTEA tekniğinin Toplam Kalite Yönetimi’ndeki yerine değinmişler ve çalışmanın sonucunda, hatanın oluşum nedenlerine inerek, ortaya çıkışını önlemek, dolayısıyla kusursuzluğu hedeflemenin en akılcı çözüm olduğunu ortaya koymuşlardır.

Stamatis(1995), çalışmasında tasarım ve proses HTEA’da değerlendirme için kullanılacak yöntemlerin seçim kriterlerini incelemiştir. Ben-Daya ve Abdul (1996), önerilen bu modeli eleştirmiş ve HTEA’nın beklenen maliyetle kombinasyonunu sağlayan gelişmiş bir model önermiştir. Yılmaz (1997), çalışmasında HTEA uygulamalarında karşılaşılan güçlükleri ele almıştır. Otomotiv elektrik sistemleri üzerine HTEA’nın uygulamaları Price ve arkadaşları (1997) tarafından, ısı transferleri üzerindeki uygulamaları Pinna ve arkadaşları (1998) tarafından yapılmıştır. Musubeyli (1999), ürünün önemli kalite karakteristiklerinin belirlenmesinde tasarım hata türü ve etkileri analizi ile kalite evinin birlikte kullanılması konulu bir çalışma yapmıştır. Çok sayıda parça içeren ürünlerin hata türlerinin önceliklendirilmesinde bu yaklaşımın kullanılmasıyla, iyileştirme faaliyetlerinin hızlı başlaması sağlanmış olup, servis oranlarında kısa sürede düşüş gözlenmiştir.

Bolat (2000), çalışmasında HTEA’nın yararları üzerinde durmuştur. Yılmaz (2000), HTEA’nın turizm sektörüne de uygulanabileceğini ve sonucunda turistik işletmelerin müşteri tatminini sağlamanın kolaylaşacağını, maliyetlerin düşeceğini, rekabet gücünün artacağını ve imajının güçleneceğini ortaya çıkarmıştır. Gül (2001), çalışmasında; 3 Hava İkmal Komutanlığı Yer Telsiz Atölyesindeki karşılaşılan hataları HTEA tekniğine göre analiz etmiş, sonuç olarak antenin bakım onarım maliyetinde %96 düşüş gözlemlemiştir.

Risklerin önceliklendirmesinde bulanık mantığın kullanılmasını Sankar ve Prabhu (2001) ve Pillay-Wang (2003) önermişlerdir. Price (1998), HTEA’daki hataların mümkün bütün olasılıklarının benzetim yardımıyla göz önüne alınması ve önemli olanlarının otomatik seçilmesi konusunda çalışmıştır. Düzgüner (2002), çalışmasında HTEA’yı ürün geliştirme sürecinde önleyici kalite güvence tekniği olarak ele almıştır.

Eryürek ve Tanyaş (2003), HTEA yönteminde maliyet odaklı yeni bir karar verme yaklaşımı üzerinde çalışmışlardır. Hatanın etkisini, boyutunu ve maliyetini birlikte değerlendiren bir uygulama çalışması sonucunda klasik HTEA tekniğinde önleyicilik boyutu kuvvetlendirilmiş, karar verme aşaması daha objektif hale getirilmiş, maliyet unsuru dahil edilmiş ve bütün olarak bakıldığında yöntem çok daha etkin hale gelmiştir.

Pillay ve Wang (2004); hata şiddeti, bulunabilirliği ve olasılığı tablolarının oluşturulması ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Çalışma sonucunda skalalar oluşturularak HTEA tekniği uygulamaya elverişli hale getirilmiştir. Engin ve Kaya (2004), trafik kazalarının önlenmesinde HTEA modeli ile ilgili çalışmalarının sonucunda HTEA tekniği kullanarak trafik kazası oranının düştüğünü ortaya çıkarmıştır.

2005 yılı sonrası HTEA üzerine yapılan araştırmalar, genellikle bulanık mantık tekniklerinin kullanıldığı çalışmalardır. Garcia, Schirru ve Frutuoso (2005), bulanık veri zarflama analizi yaklaşımını HTEA’da uygulamış; Kumar (2006), endüstriyel sistemlerin belirsiz davranışlarını tahmin için bulanık HTEA uygulaması yapmıştır. Chen ve Ko (2008), HTEA kullanarak fuzzy doğrusal programlama modeli geliştirmiş; Wang, Chin, Poon ve Yang (2008) ‘Ağırlıklandırılmış Bulanık Geometrik Ortalama’ metodunu geliştirerek risk değerlendirmesi yapmışlardır. Sharma ve Kumar (2008) çalışmalarında endüstriyel sistemlerin belirsiz davranışlarının HTEA ile tahmin edilmesi konusunu araştırmış ve bir uygulamasını yapmışlardır. Son dönemde yapılan bu ve benzeri pek çok çalışmanın ortak yanı; HTEA’daki belirsiz ve doğruluğu kesin olarak bilinmeyen verilerin bulanık mantık yöntemi ile daha doğru ve etkin değerlendirilebilmesidir.

HTEA tekniğinin günümüzdeki uygulama alanlarına; uzay, atom, otomobil, ilaç, iletişim ve ev gereçleri endüstrisi örnek gösterilebilir. [26]

### **2.1.3. HTEA’nın çeşitleri**

HTEA genel olarak kullanım alanlarına göre, Tasarım HTEA, Proses HTEA, Sistem HTEA ve Servis HTEA olmak üzere dört gruba ayrılır:

**2.1.3.1. Tasarıma HTEA:** Ürünlerin üretim yatırımı yapılmadan önceki incelemeleri aşamasında kullanılır. Tasarımdaki hatalardan veya yetersizliklerden dolayı hizmet veya imalat aşamalarında ortaya çıkan olası hata türleri üzerine odaklanır. Tasarıma HTEA tekniğinde iki yaklaşım söz konusudur. Birinci yaklaşımda, sistem ya da ürün bir bütün olarak ele alınarak başlanır ve en alt birime kadar analiz edilir. İkincisinde ise parça, bileşen gibi sistemin en alt düzeyindeki birimlerden başlanır ve alt sistem aşamaları geçilerek sistem veya ürünün en son düzeyine kadar ilerlenir. Uygulamada kabul gören ikinci yaklaşımdır.

Tasarıma HTEA ile elde edilen bilgiler birçok alanda özellikle test ve muayene noktalarının saptanmasında, önleyici bakımın planlanmasında, işlemsel kısıtların ve faydalı ömrün belirlenmesinde kullanılır. Bu yöntem ile tasarım hatalarının zamanında düzeltilmesi ve tasarım değişikliklerinin yapılması sağlanacağından, ortaya çıkacak hataları gidermek için harcanacak zaman kısıllanacak, ürün ve sistem güvenilirliği ve emniyetinde de artışlar sağlanmış olacaktır. Bundan dolayı Tasarıma HTEA, tasarım yaklaşımlarıyla ilgili kararların verilmesinde ve tasarım seçeneklerinin değerlendirilmesinde yararlı bir araçtır.

**2.1.3.2. Proses HTEA:** Üretim ve montaj süreçlerindeki hataların ve yetersizliklerin sebep olduğu olası hata türlerine odaklanır. Tasarımı yapılmış ürünün en az hata ile müşteriye ulaşmasını sağlamak amacıyla, öngörülen özelliklere uyulmadığında imalat veya hizmet esnasında ortaya çıkacak sorunları tanımlamaya çalışır. Bu amaç gerçekleştirilirken proste yapılacak iyileştirmeler, bu tekniğin aynı zamanda proses geliştirme yaklaşımı olarak tanımlanmasını sağlar. Proses HTEA:

- Bitmiş ürünün olası hata şekillerini
- Her bir imalat aşamasında prosesin olası hata şekillerini belirlemek amacıyla kullanılır. [18]

Proses HTEA; ürünün olası hata şekillerini belirleyen, hataların müşteri üzerindeki olası etkilerini değerlendiren, proste hata nedenlerinin ve hata koşullarının önlenmesi için proses değişikliklerini tanımlayan analitik bir tekniktir. [69]

**2.1.3.3. Sistem HTEA:** Tasarımın ön aşamalarında sistem ve alt sistemleri analiz ederek, sistem eksikliklerinden doğan sistem fonksiyonları arasındaki potansiyel hata türlerini belirlemeye odaklanır.

Sistem HTEA'nın faydaları; problemlerin bulunabileceği alanların daralması, fazlalıkların saptanması ve optimum sistem tasarım alternatifinin seçilmesi şeklinde sıralanabilir. [8]

**2.1.3.4. Servis HTEA:** Müşteriye servisin ulaşmadan analiz edilmesidir. Bu analiz sayesinde; geliştirme faaliyetleri arasında önceliklendirmeler yapılması ve değişiklik için nedenlerin ve açıklamaların kaydedilmesi sağlanır. [8]

#### **2.1.4. HTEA'nın yararları**

Mükemmeli arama tekniği olan HTEA uygulandığı işletmeye, mühendislere ve çalışanlara ayrı ayrı pek çok yarar sağlar. [10]

Bu yöntemin işletmeye sağladığı yararlar ancak HTEA'nın şirket felsefesi olarak benimsenmesiyle kazanılacaktır. Yöntemin sağladığı yararlar şöyle özetlenebilir: [2]

- Potansiyel hata türlerinin ve etkilerinin yerlerinin belirlenmesine yardımcı olur.
- Bağlantılı sebepleri ve mekanizmaları tespit eder.
- Önleyici faaliyetleri tespit eder ve başarısızlık şansını azaltır.
- Tasarım alternatiflerinin objektif değerlendirilmesine yardımcı olur.
- Üretim ve montaj gereksinimleri için ilk tasarıma yardımcı olur.
- Tasarım test ve geliştirme programlarına yardımcı olur.
- Başarısızlık müşterinin bakış açısından değerlendirilir.
- Risk azaltıcı faaliyetleri izleme ve dokümanete etme olanağı tanır.
- İlerideki analiz ve tasarımlar için mükemmel bir referans oluşturur.
- HTEA sürecini dokümanete eder.

#### **2.1.5. HTEA'nın uygulama süreci**

HTEA uygulamasıyla ilgili standart bir süreç bulunmamaktadır. Çoğunlukla her işletme kendi organizasyon yapısına ve müşteri isteklerine göre bir uygulama süreci oluşturmuştur.

Ancak burada en önemli güçlük, tedarikçi işletmeler ile ilgili olarak ortaya çıkmaktadır. Birçok işletme, HTEA uygulamasını tedarikçilerinden istemektedir. Bir işletmenin, birden fazla firmanın tedarikçisi olabilmesi ortak standart gereksinimini arttırmaktadır. Ortak bir uygulama süreci izlenmesi yönünde HTEA'nın en yoğun kullanıldığı otomotiv sektöründen önemli firmalar (Daimler Chrysler, Ford Motor Company ve General Motors Corporation) tarafından çalışmalar yapılmış ve kılavuz niteliğinde bir el kitabı (Potential Failure Mode and Effects Analysis Reference Manual) hazırlanmıştır. Ancak yine de işletmelerin uygulamalarında küçük farklılıklar görülmektedir.

HTEA uygulama süreçlerinde farklılıklar görülmekle beraber genel olarak şu adımlar izlenir: [52, 20]

- 1) Hazırlık Aşamasında; Proses HTEA çalışmaları hakkında bilgi ve tecrübe sahibi bir ekip görevlendirilir. Ekip içerisinde yetkili ve tecrübeli bir üye HTEA ekip lideri olarak seçilir. Dokümanlar (akış şemaları, teknik çizimler, ürün şartnamesi, geçmiş HTEA sonuçları, güvenlik talimatları ve HTEA formlarıdır) oluşturulur.
- 2) Yapısal Analiz aşamasında; Karmaşık ürün ve proseslerin yapısal analizi sistemi oluşturan tüm elamanların tek tek analizi ile gerçekleştirilir. Bileşenlerden kaynaklanabilecek sorunların nihai ürünü tümüyle etkilememesi için önlem niteliğindedir. Alt proseslerde geçmiş HTEA sonuçları da kullanılabilir.
- 3) Fonksiyonel Analiz Aşamasında; Fonksiyon yapısı tüm sistem üzerinde bilgi sahibi olunmasını sağlar, bunun yanında diğer analizler için kritik yapılar ile çakışma noktalarının seçilmesini kolaylaştırır. Böylece ürünün temel fonksiyonu, kullanım amacı ve işlevini etkileyecek şiddeti yüksek hataların oluşma alanları tespit edilebilir.
- 4) Hata Analizi Aşamasında; Tespit edilmiş kritik sistem elemanları ve çakışma noktaları temel alınarak bir ekip çalışması ile potansiyel hatalar, hata etkileri ve nedenleri belirlenir. HTEA formunda hatalar tanımlanırken gerçekleşmesi muhtemel tüm hatalar göz önünde bulundurulur. Potansiyel hata etkilerinin tanımlanmasında, oluşacak hataların yaratacağı etkiler göz önünde bulundurulur.

Tablo 2.1. Örnek HTEA Tablosu

Ürün: Parça No:	<input type="checkbox"/> Proses HTEA <input type="checkbox"/> Tasarım HTEA			Hazırlayanlar:			Tarih: HTEA No:		
Proses / Fonksiyon	Olası Hata Türü	Olası Hata Etkisi	Olası Hata Sebebi	Mevcut durum	RÖS	Önerilen Önlemler	Sorumlu	Faaliyet Sonucu	RÖS
				Önlem Ş O K				Önlem Ş O K	

- 5) Risk değerlendirilmesi ile durum belirlenerek iyileştirme ihtiyacı olup olmadığı tespit edilir. Değerlendirme; hatanın şiddeti, oluşma olasılığı ve keşfedilebilirlik sayılarının çarpımı ile bulunan Risk Öncelik Sayısı'na(RÖS) göre yapılır.
- 6) HTEA formuna HTEA ekibi tarafından önerilen iyileştirme önerileri, sorumlular ve tarihler kaydedilir.
- 7) Önlemlerin hedefi; proses değişikliği ile hata öneminin azaltılması olmalıdır.
- 8) Proses değişikliği yada önleyici faaliyetler ile hataların olasılığı azaltılmalıdır.
- 9) Hata nedenlerinin RÖS sayıları belirlendiğinde, hataların önlenmesi için öncelik sırası da ortaya çıkmış olur. RÖS sayısı; düzeltici önlemlerden önce ve sonra hesaplanır. İki RÖS değeri arasındaki fark HTEA başarısıdır.
- 10) Şiddet; hata türünün müşteriye olan etkisinin önem ve tehlikesinin 1- 10 arasında değişen bir aralıkta değerlendirmesidir. Tablo 2.2.'de verilen skala kullanılır.
- 11) Olasılık; belli bir hata sebebinin / mekanizmanın meydana gelme olasılığıdır. Olasılığı değerlendirirken Tablo 2.3. kullanılır.
- 12) Hatanın keşfedilebilirliği; mevcut proses kontrolleri, hatanın ve/veya hata sebebinin/mekanizmasının oluşmasını önleyen veya oluşması durumunda tespit edilmesini sağlayan kontrol faaliyetleridir. Keşfedilebilirlik değerlendirilirken Tablo 2.4. kullanılır. Birden fazla proses kontrolü tanımlandığında keşfedilebilirlik değeri içlerinden en iyisine göre verilir.
- 13) Risk Öncelik Sayısı (RÖS); Şiddet x Olasılık ve Keşfedilebilirliğin çarpımı ile hesaplanır. (Ş)x(O)x(K) Proses riskinin bir ölçüsüdür, 1 ile 1000 arasında olabilir. RÖS değerleri yüksek bulunduğu zaman, riski düşürmek için düzeltici faaliyetler uygulanmalıdır.

Tablo 2.2. HTEA Şiddet Değerlendirme Tablosu [20]

Etki	Nihai Müşteriye Etkisi	Üretim/Montaja Etkisi	Derece
Uyarısız Tehlikeli Etki	Potansiyel hata tipi uyarısız olarak ortaya çıktığında güvenliği etkiler ve/veya yasal mevzuatlara uygunsuzluk oluşturur.	Operatörü uyarısız olarak tehlikeye sokar.	10
Uyarılı Tehlikeli Etki	Potansiyel hata tipi uyarılı olarak ortaya çıktığında güvenliği etkiler ve/veya yasal mevzuatlara uygunsuzluk oluşturur.	Operatörü uyarılı olarak tehlikeye sokar.	9
Çok Yüksek	Araç/ürün çalışmaz. (birincil fonksiyon kaybı)	Ürünlerin %100'ü hurdaya ayrılabilir veya 1 saatten uzun tamir işlemi vardır.	8
Yüksek	Araç/ürün ancak düşük seviyeli bir performansla çalışabilir. Müşteri memnuniyetsizliği yüksektir.	Ürün ayıklanabilir, bir kısmı hurdaya ayrılabilir veya 0,5-1 saat tamir işlemi vardır.	7
Orta	Araç/ürün çalışır fakat konfor/rahatlık nesne(leri) çalışmaz. Müşteri memnuniyetsizdir.	Ürünün bir kısmı ayıklanmadan hurdaya ayrılabilir veya 0,5 saatten az tamir işlemi vardır.	6
Düşük	Araç/ürün çalışabilir fakat bazı konfor/rahatlık nesne(leri) azalan performans seviyesindedir.	Ürünün %100'ü yeniden işlenebilir.	5
Çok Düşük	Uygunluk ve mükemmellik nesne(leri) uygun değildir. Hata birçok müşteri tarafından fark edilebilir. (%75'ten fazla)	Ürün hurdaya ayrılmadan ayıklanabilir veya bir kısmı yeniden işlenir. (%100'den az)	4
Minör	Uygunluk ve mükemmellik nesne(leri) uygun değildir. Hata müşterilerin %50'si tarafından fark edilebilir.	Ürünlerin bir kısmı hurdaya ayrılmadan yeniden işlenir. (%100'den az)	3
Çok Minör	Uygunluk ve mükemmellik nesne(leri) uygun değildir. Hata hassas müşteriler tarafından fark edilebilir. (%25'ten az)	Ürünlerin bir kısmı hurdaya ayrılmadan yeniden işlenir. (%100'den az)	2
Yok	Fark edilebilir bir etki yoktur.	Hiç etki yok.	1

Tablo 2.3. HTEA Olasılık Değerlendirme Tablosu [20]

Başarısızlığın Olasılığı	Olası başarısızlık oranı	Derece
Çok yüksek: Sürekli hatalar	>= Bin parçada 100	10
	Bin parçada 50	9
Yüksek: Sık hatalar	Bin parçada 20	8
	Bin parçada 10	7
Orta: Zaman zaman hatalar	Bin parçada 5	6
	Bin parçada 2	5
	Bin parçada 1	4
Düşük: Oldukça seyrek hatalar	Bin parçada 0,5	3
	Bin parçada 0,1	2
Uzak: Hata beklenmiyor	<= Bin parçada 0,01	1



- 14) Önerilen bir faaliyetin amacı, olasılık, şiddet ve keşfedilebilirlik değerlerini düşürebilmek olmalıdır.
- 15) Olasılığın ve şiddetin düşürülmesi ancak tasarım ve /veya proses değişikliğinden etkilenir.
- 16) Keşfedilebilirliğin düşürülmesi için tercih eden yaklaşım hata önleme metodlarının kullanılmasıdır.

Tablo 2.4. HTEA Keşfedilebilirlik Değerlendirme Tablosu [20]

Keşif	Kriter	Muayene Tipi		Keşfedilebilirlik Metot Aralığı	Derece	
Hemen hemen imkansız	Keşfedilemez			MANUEL KONTROL	10	
Çok uzak	Kontrollerle muhtemelen keşfedilemeyecektir.				Kontroller dolaylı olarak veya rasgele yapılıyor.	9
Uzak	Kontrollerle keşif şansı zayıf				Kontroller sadece gözle muayene olarak yapılıyor.	8
Çok düşük	Kontrollerle keşif şansı zayıf				Kontroller iki kez gözle muayene olarak yapılıyor.	7
Düşük	Kontrollerle keşfedilebilir				Kontroller İPK gibi kart metodlarıyla yapılıyor.	6
Orta	Kontrollerle keşfedilebilir				Parçalar rasgele ölçülüyor veya %100 master kontrolü	5
Kısmen yüksek	Kontrollerle keşif şansı yüksek	HATASIZLAŞTIRMA	ÖLÇÜM	Hata önleme metodları veya ayar sırasında ölçüm ve ilk parça kontrolü uygulanıyor.	4	
Yüksek	Kontrollerle keşif şansı yüksek			Çeşitli kademelerde (tedarik, seçim) hata önleme uygulanıyor.	3	
Çok yüksek	Kontroller hemen hemen kesine yakın keşfedilebilir			Üretim istasyonunda hata önleme uygulanıyor. Uygun olmayan parça geçemez.	2	
Hemen hemen kesin	Kontroller mutlaka keşfeder			Ürün/proses dizaynı hata önlemeye yönelik kurulduğu için uygun olmayan ürün üretilmez.	1	

- 17) Düzeltici faaliyetlerin içeriği Öncelikle yüksek şiddet, daha sonra yüksek olasılık daha sonra yüksek keşfedebilirlik değerlerinin düşürülmesini hedeflemektedir.
- 18) Şiddet değeri, 9 veya 10 ise; RÖS değeri ne olursa olsun özel aksiyon gerekir. Aksiyon başlatma yaklaşımı şu şekilde yapılır;

- Şiddet değerleri 9 veya 10 ise; RÖS değerine bakılmaksızın derhal gerekli aksiyonlar başlatılır.
  - Önce şiddet, daha sonra olasılık daha sonra keşfedilebilirlik değerlerinin düşürülmesi hedeflenir
- 19) RÖS $\geq$ 100 ise gerekli aksiyonlar tanımlanmalıdır.
- 20) Takip faaliyetleri ile ilgili olarak aşağıdaki yaklaşımlar tanımlanmalıdır;
- Proses/ürün gerekliliklerinin sağlandığının doğrulanması
  - Mühendislik çizimlerinin, ürün/proses özelliklerinin ve proses akışının gözden geçirilmesi
  - Değişikliklerin üretim dokümantasyonuna yansıtıldığının doğrulanması
  - Kontrol planlarının ve operasyon talimatlarının gözden geçirilmesi

## 2.2. Analitik Ağ Süreci (AAS)

### 2.2.1. Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ve analitik ağ süreci (AAS) yapısı

Karar verme, mevcut tüm alternatifler arasından amaç veya amaçlara en uygun ve mümkün olanlardan bir veya birkaçını seçme sürecidir. [36] Karar verme tüm yönetim fonksiyonlarının özünü oluşturur. Planlama, organize etme, uygulama ve kontrol etme gibi diğer yönetim fonksiyonları da yoğun olarak karar vermeye dayanır. [51]

Modern karar destek yöntemlerini kullanan işletmeler, globalleşen iş ilişkilerine öncülük etmekte ve bu ilişkiler ağını yönetmekte rekabetçi avantaj sahibi olabilmektedirler. Modern karar destek yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi(AHP) ve Analitik Ağ Süreci(AAS) Prof.Thomas L. Saaty tarafından geliştirilmiştir. [51]

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), karar vericilerin birden çok kriter içeren karmaşık problemleri, problemin ana hedefi, kriterleri, alt kriterleri ve alternatifleri arasındaki ilişkiyi gösteren bir hiyerarşik yapıda modellemelerine olanak verir. AHP'nin en önemli özelliği karar vericinin hem objektif hem de subjektif düşüncelerini karar sürecine dahil edebilmesidir. AHP çok geniş bir uygulama alanına sahiptir ve pek çok karar probleminde etkin olarak kullanılmaktadır. [51, 81]

AHP, karar verme problemlerini hiyerarşik bir yapıda tek yönlü olarak modellemekte ve en iyi kararın verilmesine etki eden faktörleri sistematik bir şekilde değerlendirerek, faktörlere ilişkin öncelik sıralarını belirlemektedir. AHP'nin en önemli varsayımlarından biri; aynı seviyede bulunan faktörlerin birbirinden bağımsız olması ve faktörlerin birbirine olan etkilerinin dikkate alınmamasıdır. Oysa gerçek hayatta karar verme problemlerini etkileyen birçok faktör birbiriyle etkileşim halinde bulunmakta ve en iyi kararın verilmesi faktörler arasındaki bu ilişkilerin dikkate alınmasını gerektirmektedir. AHP çeşitli faktörlerin kendi arasındaki etkilerini hesaba katmadığından sonuçlarda belirginlik yoktur. [81] AHP'nin bu özelliği nedeniyle AAS'nin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuş ve bu çalışmada da AAS uygulaması tercih edilmiştir.

AAS, AHP tekniğinin üzerine kurulan, karar verme ölçütleri ve seçenekleri arasında ve kendi içlerinde geri besleme ve bağımlılığa olanak tanıyan, dolayısıyla karmaşık karar problemlerinin daha doğru şekilde modellenbildiği bir yaklaşımdır. [80]

AAS, seçeneklerin açıkça bilindiği ancak karar vermede etkisi olan koşulların (kısıtların) matematiksel olarak ifade edilemediği karar verme problemlerinde uygulanır. Burada amaç, belirlenen ölçütlere göre istenen hedefe ulaşmak için en uygun seçeneği belirlemektir.

AHP, çok kriterli problemlerde ikili karşılaştırmalar ile karar seçeneklerinin göreceli önceliklendirilmesini sağlayan bir yöntemdir. AAS ise AHP'nin daha genel bir formudur ve bileşenler arasındaki ilişkileri ve yönlerini tanımlayarak ağ şeklinde ifade eder. Bu yapı sayesinde, doğrudan ilişkilendirilmemiş bileşenler arasında olabilecek dolaylı etkileşimler ve geri bildirimler de dikkate alınmaktadır. [75] AAS yöntemi bu yapıyla karar verme problemlerinin daha etkin ve gerçekçi bir şekilde çözülmesini sağlamaktadır.

AAS, karar vericinin kişisel yargı ve değerlendirmelerine bağlı olarak seçenekleri en önemliden en önemsiz doğru sıralar. Hatta seçeneklerin önem derecesini de belirleyerek seçeneklerin birbirlerine ne kadar yakın ve uzak olduğunu, bir seçeneğin belirlenen hedefi ne kadar sağladığını da gösterir. [81]

AAS önseziye dayanan modellerde ve kararlara etki edecek sınırsız çevresel faktörün dikkate alınması açısından daha kullanışlı bir yöntemdir. Bu şekilde hiyerarşik yapılar ile modellenemeyen karmaşık problemler kolaylıkla modellenebilir. [21]

AAS'nin temel özellikleri;

- 1) AAS, AHP üzerine kurulmuştur.
- 2) AAS, bağımlılığı mümkün kılarak AHP'nin ötesine geçer; bunun yanında bağımsızlığı özel bir durum olarak içerebilir.
- 3) AAS, iç bağımlılık ve dış bağımlılık ile ilgilidir.
- 4) AAS'nin ağ yapısı herhangi bir karar probleminin kolaylıkla gösterilmesine olanak sağlar.
- 5) AAS; kaynaklar, döngüler ve hedeflerden oluşan doğrusal olmayan bir yapıdadır.
- 6) AAS; sadece elemanlar için değil, eleman kümeleri için de üstünlük belirleyebilir.
- 7) AAS, farklı kategorideki kriterleri değerlendirmek için bir kontrol ağı veya hiyerarşisi kullanır. Bu yapı, insan beyninin farklı duygulardan gelen verileri birleştirmesi işlemine paraleldir. [82]

### 2.2.2. AAS yönteminin uygulama alanları ve literatür taraması

Seçeneklerin açıkça bilindiği ve bu seçenekleri değerlendirmek için kriterlerin var olduğu, ancak bu kriterlerin tümünün sayısal olarak ifade edilemediği, bazı kriterlerin karar vericiye göre ağırlığının değişebildiği, belirlenen kontrol kriterlerine göre kriterlerin ikili karşılaştırmalarının yapılabileceği problemlerde AAS uygulanabilir. [81]

Çok amaçlı bir karar verme tekniği olan AAS günümüze kadar birçok karmaşık karar verme probleminin çözümünde kullanılmıştır. Meade ve Sarkis (1998,1999), yaptıkları iki ayrı çalışmada lojistik stratejilerinin değerlendirilmesi ve üretim hızının iyileştirilmesi için geliştirdikleri bir yöntemde AAS'yi kullanmışlardır. Lee ve Kim (2001), bilgi sistemi proje seçimi sürecinde AAS kullanmış ve bulunan proje öncelikleri 0-1 hedef programlama modeli için bir kısıt olarak alınmıştır. Karsak ve arkadaşları (2002) ile Partovi ve Corredoira (2002), kalite fonksiyon yayılımı sürecinde AAS yaklaşımını uygulamışlardır.

Meade ve Presley (2002), Ar-Ge projelerinin değerlendirilmesine ve stratejik tedarikçi seçimine yönelik geliştirdikleri modelde AAS kullanmışlardır. Mikhailov ve Singh (2003), bir karar destek sistemi olarak bulanık AAS metodu geliştirmişlerdir. Dağdeviren ve Kurt (2005), Demirtaş ve Üstün (2005), Gencer ve Gürpınar (2006); AAS'nin en yaygın kullanım alanlarından biri olan tedarikçi değerlendirme sürecinde yeni model tasarımları ve uygulamaları yapmışlardır. Son dönemde ise Ayağ ve Özdemir'in (2007) yeni ürün geliştirme, Köne ve Büke'nin (2007) Türkiye için elektrik kaynakları değerlendirme, Dağdeviren ve Yüksel'in (2007) SWOT analizi konularında çözüm ve uygulama çalışmaları mevcuttur.

Bu tez çalışması ile benzer amaç ve yönetime sahip literatürdeki tek çalışma Chen, Lee'nin (2007) "HTEA'da AAS ile Risk Önceliğinin Değerlendirilmesi"dir. Geleneksel HTEA'daki ilişkilendirmelerin yetersizliğinden yola çıkarak AAS tekniği ile hata riski önceliklendirmesi yapılmış düzeltici faaliyetler sonrası bulunan RÖS değerlerinin geleneksel HTEA'dakine kıyasla daha düşük çıkması nedeniyle AAS'nin risk öncelik tespitinde geleneksel yönetime göre daha doğru yönlendirmeler yaptığı savunulmuştur.

### **2.2.3. AAS yönteminin uygulama adımları**

1. AAS Kriterlerinin, Alt Kriterlerinin Tanımlanması
2. AAS İlişkilerinin Tanımlanması (Modelinin Oluşturulması)
3. İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması (Derecelendirme)
4. AAS'de Matris İşlemleri (Süpermatris, Ağırlıklandırılmış matris, Limit matris)
5. En Uygun Alternatifin Seçimi (Çözüm)

#### **2.2.3.1. AAS kriterlerinin, alt kriterlerinin tanımlanması**

AAS'de bir karar probleminin gösteriminde ayrıntılı yapıların kullanılması önemlidir. [80] Verilen kararın geçerliliği, kullanılan çözüm yöntemine bağlı olduğu kadar oluşturulan yapının ve yapıdaki ilişkilerin zenginliğine ve doğruluğuna da bağlıdır.

Daha önce belirtildiği gibi AAS, seçeneklerin açıkça bilindiği ve bu seçenekleri değerlendirmek için kriterlerin var olduğu durumlarda uygulanabilir. AAS'nin ilk adımı

olarak seçenekler, bu seçenekleri önceliklendirmede kullanılacak kriterler ve bu kriterlerin alt kriterlerinin belirlenmesidir.

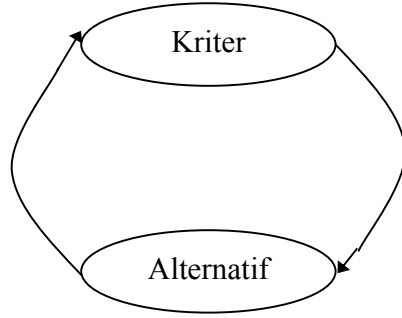
Kriter; karar verici açısından önemli olan ve seçenekleri sıralamakta kullanacağı niteliklidir. Bu kriter, sayısal ve sayısal olmayan türde olabilir. Örneğin yeni araba satın almak isteyen bir kişinin karşılaştığı araba seçme problemi, sonlu seçenekli ve kapalı kısıtlı bir problemdir. Çünkü seçenek sayısı bellidir ve problem sayısal olarak ifade edilemeyecek koşullar olması nedeniyle matematiksel olarak modellenemeyecek durumdadır. Bu durumda seçenekleri belirlenecek kriterlere göre değerlendirmek gerekir. Bu kriterler arasında örneğin arabanın rengi, dış görünümü, markası veya modeli sayısal olarak ifade edilemeyen niteliklerdir ve bunlar iyi, kötü, güzel, çirkin, az, çok, yeterli, yetersiz gibi ifadelerle nitelendirilebilirler. Diğer yandan arabanın fiyatı, harcadığı yakıt ve bakım masrafı gibi kriterlerse sayısal olarak ifade edilebilen özelliklerdir.

Bir karar verme probleminde, belirlenen bir kritere göre seçeneklerin hepsi aynı değeri alıyorsa, o kriterin karar vermede bir etkisi yoktur. Tüm seçenekleri aynı derecede etkilediği için seçim sürecinde etkisiz kriterdir. Yine otomobil satın alma örneği ile açıklayacak olursak; 4 seçenekli bir karar verme probleminde otomobillerin hepsi otomatik vitesli ise vites, bu problem için bir seçim kriteri olarak kabul edilemez. Çünkü bu kriterin tüm seçenekleri tercih etmede sağlayacağı fayda aynıdır, herhangi birine üstünlük sağlamaz.. AAS'de bu türden kriterlerin değerlendirmeye alınması yanlış sonuç doğurmaz sadece uygulayıcıya işlem yükü getirir.

### **2.2.3.2. AAS ilişkilerinin tanımlanması (modelin oluşturulması)**

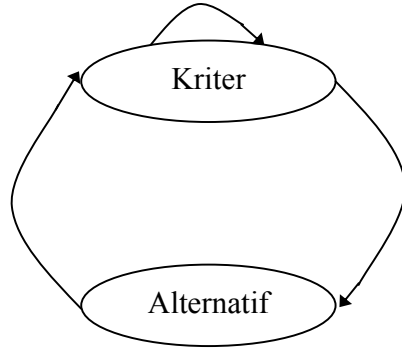
Geri bildirim (feedback): Geri bildirim, AAS'nin AHP'den en büyük farkıdır. AHP'de alternatifler üzerinde kriterlerin tek yönlü etkisine bakılırken, AAS'de hem alternatifler hem kriterler hem de alt kriterlerin birbirleriyle etkileşimlerine yer verilmektedir. [81]

Dışsal bağımlılık (outer dependence): Bir kriterin kendisinden farklı bir kümede bulunan kriterle/alternatiflerin bulunduğu küme ile varolan etkileşimini gösteren bağımlılıktır. [81]



Şekil 2.1. AAS’de dışsal bağımlılık

İçsel bağımlılık (inner dependence): Aynı küme içinde yer alan kriterlerin birbirleriyle olan etkileşimini gösteren bağımlılıktır. [81]



Şekil 2.2. AAS’de içsel bağımlılık

### 2.2.3.3. İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması (derecelendirme)

AAS’de ölçütlerin ve seçeneklerin birbirine göre önemlerini belirleyebilmek için ikili karşılaştırmalar yapılır. Seçeneklerin karşılaştırılması her bir ölçüt için ayrı ayrı yapılır. Sayısal olarak ifade edilebilen ölçütler için seçenekleri karşılaştırmada bir sorun yoktur. Ama sayısal olarak ifade edilemeyen ölçütler için bir seçeneğin diğerinden ne kadar önemli olduğunu belirlemek kolay değildir. Sayısal olarak ifade edilemeyen ölçütlerin karşılaştırılmasında Tablo 2.5.’teki ölçütler kullanılır. Tablo 2.5’te görüldüğü gibi; belli bir ölçüte göre biri diğerinden çok daha önemli ise 9 değeriyle, seçenekler arasında eşitlik varsa veya önem açısından fark olmadığı düşünülüyorsa 1 değeriyle, kararsız kalınan durumlarda ise 2,4,6,8 gibi ara değerler ile puanlama yapılmalıdır. [81]

Tablo 2.5. AAS yönteminde kullanılan derecelendirmeler [81]

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor.
3	Orta derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettiriyor.
5	Kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli derecede tercih ettiriyor.
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor.
9	Aşırı derecede önemli	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahip.
2,4,6,8	Ortalama değer	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasında düşen puanlamalar.

AAS’de göreceli durumlar ve göreceli olmayan (kesin) durumlar için göreceli ağırlık vektörü (GAV) hesaplanır. Göreceli durumlarda; ikili karşılaştırmalar yapılarak bir göreceli ağırlık vektörü (eigenvektor) hesaplanır. [64] Göreceli ağırlık vektörü, örneğin araba maliyeti için şu şekilde hesaplanır: (Araba örneğinde; araba maliyeti, alternatifler için olumsuz bir kriter olduğundan maliyetler değerlendirilirken çarpmaya göre tersi alınarak olumlu etkiye çevrilir. )

- Alternatifler ve maliyetler tablosu hazırlanır,
- “1/maliyet” sütunu oluşturulur, (olumsuz kriter olduğu için tersi alınır)
- “1/maliyet” sütunu toplamı alınır,
- Her satır için [“1/maliyet” / “1/maliyet sütunu toplamı”] GAVdır.

Tablo 2.6. GAV Hesaplama Örnek Tablosu

	Maliyet	1/Maliyet	GAV
A	20	0,0500	0,37
B	25	0,0400	0,30
C	23	0,0435	0,33
	Toplam	0,1335	



Bu çalışmada ele alınan HTEA örneği de göreceli bir durumdur. Yani kesin sayısal ifadeler (rapor sonucu, hurda kg değeri, yeniden işlenen ürün toplamı..vb.) değil, kişilerin yaptığı puanlama sonucu elde edilen sayısal verilere dayanır.

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} W_{i1}^{(j_1)} & W_{i1}^{(j_2)} & \dots & W_{i1}^{(j_{n_j})} \\ W_{i2}^{(j_1)} & W_{i2}^{(j_2)} & \dots & W_{i2}^{(j_{n_j})} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ W_{in_i}^{(j_1)} & W_{in_i}^{(j_2)} & \dots & W_{in_i}^{(j_{n_j})} \end{bmatrix}$$

Şekil 2.3. Karşılaştırmalı matris yapısı

AAS modelinin kriterleri ve alt kriterleri arasında karşılaştırma yapılır, üstünlük derecesi belirlenir ve ‘ $W_{ij}$ ’ (Bkz. Şekil 2.3.) yapısında karşılaştırmalı matrisler oluşturulur.

#### 2.2.3.4. AAS’de matris işlemleri

AAS’de ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasından sonra çözüme doğru ilerlemek için bu matrislerin üstünlük vektörlerinin hesaplanması gerekmektedir. Hesaplanan üstünlüklerin ikili karşılaştırma matrislerindeki yargıları doğru biçimde yansıtmaları çok önemlidir. [77]

Üstünlük vektörlerinin bulunması için farklı yollar olmakla birlikte en iyi sonuç veren yollardan biri, A matrisinin her sütunundaki elemanları sütun toplamlarına bölmek suretiyle sütunları normalize etmek ve elde edilen matristeki satırların aritmetik ortalamasını almak şeklindedir. [65]

Geri beslemeli bir sistemde bileşenlerin üstünlüklerinin sentezlenmesi dikkat isteyen bir süreçtir. [78] Bir ağ yapısında hiyerarşik yapıda olduğu gibi üstünlüklerin sırayla en alt seviyeden en üst seviyeye kadar çarpılması mümkün değildir. Sistemin elemanları çok sayıda farklı elemanla etkileşim halinde olabilir.



AAS'de bu aşamadan sonra amaçlanan her bir elemanın diğer elemanlarla olan etkileşimini yansıtan limit üstünlüklerin türetilmesidir. Limit üstünlükleri elde etmek üzere matris işlemlerinin yapılması oldukça zor ve uzun bir süreçtir. Bu süreçte superdecision paket programı üstünlük vektörü hesaplamak için kullanılabilir, güvenilir sonuçlar veren bir araçtır. [85]

#### **2.2.3.5. En uygun alternatifin seçimi (çözüm)**

Limitlendirme işlemi sonrasında normalize edilmiş ağırlıklandırılmış matrise ulaşılır. Bu matris satır ve sütun değerleri kriter ve alternatiflerden oluşan sonuç matrisidir. Limit değeri yani üstünlük değeri en büyük olan alternatif, AAS ile modellenen karar probleminde çözüm alternatifi olarak seçilir.

### **2.3. Bulanık Kümeler ve Bulanık AAS**

Mühendislik ve diğer bilim dallarının çoğundaki sistemler kesin matematik yöntemler kullanılarak modellenir. Ancak gerçek hayatta karşılaşılan problemler genellikle deterministik değildir. Özellikle karar süreçlerindeki belirsizlik nedeniyle; karar problemlerinin çözümünde yeni teknik ve çözüm arayışlarına gidilmiş, bu belirsizlikler olasılık kuramı ve teknikleriyle aşılmaya çalışılmıştır. Bulanık mantıkta temel amaç insanların belirsiz ve kesin olmayan bilgiler ışığında tutarlı ve doğru kararlar vermelerini sağlayan düşünme ve karar mekanizmalarının oluşturulmasıdır.

#### **2.3.1. Bulanık mantığın gelişimi ve literatür taraması**

Bulanık mantığı ilk ortaya koyan, California Berkeley Üniversitesi'nden Prof. Lotfi Zadeh'tir. Zadeh, belirsizlik mantığını gerçek dünya problemlerine büyük bir hassasiyetle uygulamaya çalışmış ve teorik çalışmasını 1947 yılındaki G.Boole'nin 'Mantık İçin Matematiksel Fonksiyonlar' çalışmasından faydalanarak tamamlamıştır. Belirli sayılardan belirsiz sayılara geçişte Heisenberg ve Kukasiewicz'in 'Çok Seçenekli Mantık' çalışmaları faydalı olmuştur.

Bir işletme profesörü olan Ebrahim Mamdan; 1973 yılında Queen Mary ve Westlich kolejlerinde bulanık kontrolün temelini oluşturan ve makine kullanımında bulanık mantığı uygulayan ilk işletmeci olmuştur. [90] California Berkeley Üniversitesi'nde Zadeh, bulanık küme teorisinin devamı niteliğinde olan Soft-Computine Enstitüsü'nü kurmuş ancak ilk adımın ABD'de atılmasına rağmen, bu konudaki gelişim Japonlar tarafından sürdürülmüştür. Japon gelişiminde, Japon Life Enstitüsünün (Laboratory for International Fuzzy Engineering Research) çalışmaları önemli yer tutmaktadır. [64]

1980'li yıllardan günümüze bulanık mantık, çok hızlı bir gelişme göstermiş ve bu konuya yönelik çok sayıda süreli yayın ve araştırma, makale yayınlanmıştır. Son yıllarda bulanık AAS özellikle kalite alanında ve seçim problemlerinde yoğun uygulamaları görülmektedir. Mikhailov ve Singh (2003), bir karar destek sisteminin geliştirilmesi sürecinde bulanık AAS yöntemini kullanmışlardır. Kahraman, Ertay ve Büyüközkan (2004), bulanık AAS'yi kalite evi tekniğinde Chang algoritmasıyla uygulamışlardır. Mohanty ve arkadaşları (2005), bulanık AAS yaklaşımıyla bir vaka analizinde Ar-Ge projesi seçimi yapmışlar; Dağdeviren, Yüksel ve Kurt (2007), iş sistemlerinde bulanık AAS yaklaşımıyla risk belirleme çalışması yaparak çok kriterli karar problemleri için yeni bir model geliştirmişlerdir.

### **2.3.2. Bulanık kümeler**

Bulanık küme kuramı, ilk olarak 1965 yılında Lotfi Zadeh tarafından geliştirilmiştir. Bulanık küme kuramı veya olabilirlik kuramı, bazı kümelerin kesin olmayan sınırlara sahip olduğu ana fikrine dayanır. Olasılık kuramı olayların gerçekleşmelerine veya gerçekleşmemelerine yönelik belirsizliği rassallık kapsamında ele almakta, bulanık kümeler kuramı ise bir şeyin sınırları kesinlik taşımayan bir kümeye ait olup olmadığı belirsizliği ile ilgilenmektedir.

Bulanık küme teorisi, ne stokastik ne de raslantısal olan, zihinsel olgulardan kaynaklanan belirsizlikleri modellemenin en iyi yoludur. Karar verme ile ilgili rasyonel yaklaşımlar, nesnel olasılık ölçütlerinden çok, insan öznelliğini dikkate almalıdır. İnsan öznelliğinden elde edilen sayısal veriler bulanık veri olarak adlandırılır. [97]

Bulanık küme kuramı, klasik matematiğin kesinliği ve gerçek yaşıntıdaki belirsizlik arasında uzlaşma sağlayan bir adımdır. [39]

### 2.3.2.1. Bulanık kümelerin özellikleri

Klasik küme kuramında, evrensel kümeye ait olan elemanlar, bir kümeye ait olan elemanlar ve kümeye ait olmayan elemanlar olarak iki sınıfa ayrılır. Klasik kümenin tanımladığı gruba ait olan ve olmayanlar arasında kesin, belirgin bir sınır vardır. Ancak konuşma dilinde tanımlanan uzun boylular, pahalı arabalar, koyu renkliler gibi bir çok grup ve sınıf bu özelliğe uymamaktadır. Bu kümelerde sınırlar kesin ve net gözükmemekte, kümeye üye olma ile olmama arasındaki geçişin ani değil, dereceli olduğu gözlenmektedir. Bir bulanık küme, evrensel kümeye ait her elemana bulanık kümeye ait olma derecesini gösteren birer üyelik derecesi atamak yoluyla matematiksel olarak tanımlanır. Üyelik derecesi, bir elemanın bulanık kümenin temsil ettiği özelliğe ne denli benzer veya uygun olduğunu gösterir. Üyelik dereceleri genellikle 0 ile 1 kapalı aralığındaki gerçel sayılarla temsil edilir. Üyelik derecesi büyüdükçe elemanın bulanık kümeye ait olma derecesi artar. Tam üyelik derecesi 1 veya tam üye olmama derecesi 0 değeri ile gösterilir. Bu nedenle klasik kümeler, daha genel ifade biçimi olan bulanık kümelerin üyelik dereceleri 0 ve 1 değerlerini alabilen özel hali olarak gösterilebilir. [45]

Bulanık kümeler kuramında esası oluşturan kavram “üyelik fonksiyonudur”. Klasik bir küme, elemanların topluluğu olarak tanımlanabilir. Her bir eleman A kümesine aittir veya değildir. Böyle bir klasik küme, farklı şekillerde tanımlanabilir. Kümeye ait elemanlar listelenir veya küme analitik olarak tanımlanır. Örneğin üyelik koşulu verilerek;  $A = \{x|x \geq 5\}$  şeklinde veya üye elemanları karakteristik fonksiyon kullanılarak tanımlama yapılabilir. Klasik kümelerde karakteristik fonksiyon evrensel kümenin elemanlarına 1 veya 0 değerleri atayarak, elemanları ilgilenilen klasik kümeye ait olanlar ve olmayanlar şeklinde ayırmaktadır. Bu fonksiyon evrensel kümenin elemanlarına belirlenen bir aralıkta değer atayacak biçimde genelleştirildiğinde, her bir elemanın ilgilenilen kümeye ait olma (üyelik) derecesini verir. Bu fonksiyona “üyelik fonksiyonu” ve bu fonksiyonun tanımladığı kümeye “bulanık küme” adı verilir. Bu çalışma içerisinde bundan böyle karşılaşılabilecek tüm bulanık kümeler için üyelik değerleri  $[0,1]$  aralığında olacaktır. [10]

$X$  bir evrensel küme olsun.  $A$  bulanık kümesini tanımlayan üyelik fonksiyonu genellikle  $[0,1] : 0$  ila  $1$  arasındaki gerçel sayıları kapsayan kapalı aralık olmak üzere;

$$\mu_A: x \rightarrow [0,1] \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanır.

Bu durumda düzenli çiftlerden oluşan  $A$  bulanık kümesi

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (2.2)$$

olarak gösterilir.

$X$  evrensel kümesindeki, bir  $A$  bulanık kümesinin desteği; evrensel kümeye ait ve  $A$ 'nın üyelik derecesi  $0$ 'dan büyük olan bütün elemanlarını içeren bir klasik kümedir.

$A$  bulanık kümesinin desteği,  $\text{Supp } A = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\}$  eşitliği ile gösterilir. (2.3)

Bir bulanık kümenin “yüksekliği”, o kümedeki elemanların sahip olduğu en yüksek üyelik derecesidir.

Bir bulanık kümenin elemanlarından en az biri mümkün maksimum üyelik derecesine sahip ise, o bulanık kümeye “normalleştirilmiş” adı verilir.

Bulanık kümenin  $\alpha$  kesimi  $A_\alpha$ ,  $A$ 'daki üyelik dereceleri, belirlenen  $\alpha$  değerine eşit veya büyük olan ve  $X$  evrensel kümesine ait tüm elemanları kapsayan bir klasik kümedir:

$$A_\alpha = \{x \in X \mid \mu_A(x) > \alpha\} \quad (2.4)$$

Dış bükey (konveks) olma özelliği bulanık küme kuramında önemli rol oynar. Klasik küme kuramının tersine, dış bükeylik (konvekslik) koşulları bulanık kümenin desteği yerine üyelik fonksiyonuna göre tanımlanır.

$x_1, x_2 \in X; \lambda \in [0,1]$  için

$$\mu_A(x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min(\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)) \quad (2.5)$$

sağlanıyor ise  $A$  bulanık kümesi dış bükeydir.

Veya bir  $A$  bulanık kümesine ait tüm  $\alpha$  kesim kümeleri dış bükey ise  $A$  kümesi de dış bükeydir. [66]

### 2.3.2.2. Bulanık kümelerde temel küme işlemleri

Evrensel kümede  $X$ 'de tanımlı  $A$  bulanık kümesinin tümleyeni  $\bar{A}$  için, her  $x \in X$  için

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.6)$$

$A$  ve  $B$  bulanık kümelerinin birleşimi  $A \cup B$  de bulanık kümedir ve her  $x \in X$  için

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (2.7)$$

$A$  ve  $B$  bulanık kümelerinin kesişimi  $A \cap B$  de bir bulanık kümedir ve her  $x \in X$  için

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (2.8)$$

şeklinde tanımlanır. [66]

### 2.3.3. Bulanık AAS ve Chang'in derece analizi metodu

Geleneksel HTEA'da, girdi değerleri kesin sayısal veriler olarak düşünülür. Bulanık veriler kullanılarak HTEA uygulanması durumunda; bulanık sayı çeşitleri, bulanıklaşma stratejileri ve bulanık sayıların bulanıklık derecesi gibi faktörler hata türlerinin risk derecelendirilmesini etkileyebilir. Hata risklerinin değerlendirilmesi genelde bulanık ve belirsizdir. Bu nedenle uygulama aşamasında yapılan analizler için Chang'in derece analizi metodu kullanılacaktır.

HTEA'da risk önceliği belirleme probleminde kesin veriler olmaması ve kişilerin subjektif değerlendirmeleri ile sonuca ulaşılması, problemin bulanık yöntemlerle çözülmesi ihtiyacını ortaya çıkarır. Chang'in Derece Analizi Metodu; hata türü ve kriterleri arasındaki ağ yapısını ve karar probleminin gerektirdiği bulanık yaklaşımı aynı anda sağlayan entegre bir algoritmadır.

Bu çalışmada Chang algoritmasının tercih edilmesinin nedenleri;

- hata risklerinin değerlendirme aşamasında kesin verilerin olmaması ve kişilerin subjektif değerlendirmeleri ile sonuca ulaşılması gereği; yani bulanıklık
- hata türünün sebepler, olasılıklar, etkiler, bulunabilirlik ve diğer hata türleri ile aynı anda ilişkilendirileceği bir model geliştirilmesi ihtiyacı; yani ağ yapısıdır.

Bu metodun kullanımında aşağıdaki bilgiler dikkate alınır;

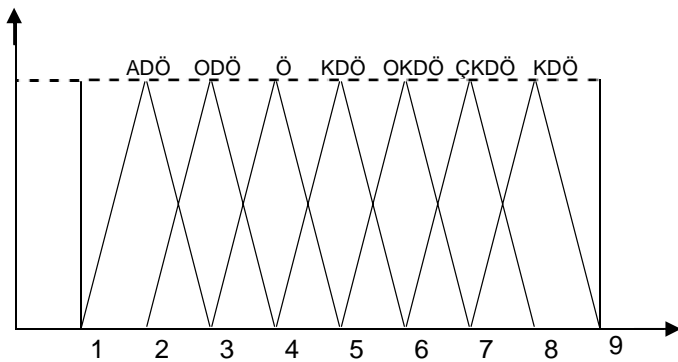
Üçgensel bulanık sayılar genellikle  $(l/m, m/u)$  veya  $(l,m,u)$  şeklinde ifade edilir. (2.9)'da bir üçgensel bulanık sayı ( $M$ ) gösterilmiştir.  $l, m, u$  parametreleri sırasıyla; en küçük olası değeri, en muhtemel değeri ve en büyük olası değeri tanımlar.

$$\mu(x/M) = \begin{cases} 0, & x < l, \\ (x-l) / (m-l), & l \leq x \leq m, \\ (u-x) / (u-m), & m \leq x \leq u, \\ 0, & x > u. \end{cases} \quad (2.9)$$

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  bir nesne kümesi ve  $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$  bir amaç kümesi olsun. Chang'ın derece analizi metoduna göre her nesne her amaç için sırasıyla gerçekleştirilen bir derece değeri almalıdır,  $g_i$ . Bu nedenle her nesne için derece analizi değerleri aşağıda verilen şekilde elde edilir.

$$M_{g1}^1, M_{g1}^2, \dots, M_{g1}^m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.10)$$

Burada yer alan tüm  $M_{g1}^j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) üçgensel bulanık sayılardır.



Şekil 2.5. Önem Derecelerinin Dilsel Skalası



Tablo 2.7. Önem Derecelerinin Dilsel Skalası

Derecelendirme	Üçgensel Bulanık	Üçgensel Bulanık
	Derece	Karş. Derece
1 Eşit derecede önemli (EDÖ)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
2 Az derecede önemli (ADÖ)	(1, 2, 3)	(1, 1/2, 1/3)
3 Orta derecede önemli (ODÖ)	(2, 3, 4)	(1/2, 1/3, 1/4)
4 Önemli (Ö)	(3, 4, 5)	(1/3, 1/4, 1/5)
5 Kuvvetli Derecede Önemli (KDÖ)	(4, 5, 6)	(1/4, 1/5, 1/6)
6 Oldukça Kuvvetli Derecede Önemli (OKDÖ)	(5, 6, 7)	(1/5, 1/6, 1/7)
7 Çok Kuvvetli Derecede Önemli (ÇKDÖ)	(6, 7, 8)	(1/6, 1/7, 1/8)
8 Kesin Olarak Daha Önemli (KODÖ)	(7, 8, 9)	(1/7, 1/8, 1/9)
9 Aşırı Derecede Önemli (ADÖ)	(9, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/9)

Chang'ın derece analizi metodunun adımları aşağıdaki gibi verilebilir: [13]

Aşama 1: *i*. Nesne için bulanık sentetik derece değeri şu şekilde ifade edilir;

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (2.11)$$

$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ , bir özel matris için, *m* derece analizi değerlerinin bulanık toplama işlemi ile

$$\text{toplanmasıyla belirlenir: } \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left( \sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (2.12)$$

$$\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}, M_{g1}^j \quad (j=1,2,\dots,n) \text{ değerlerinin bulanık toplama işlemi ile}$$

toplanmasıyla belirlenir:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left( \sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (2.13)$$

Sonra yukarıdaki ifade ile elde edilen vektörün tersi alınarak  $\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$  değeri elde

$$\text{edilir: } \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (2.14)$$

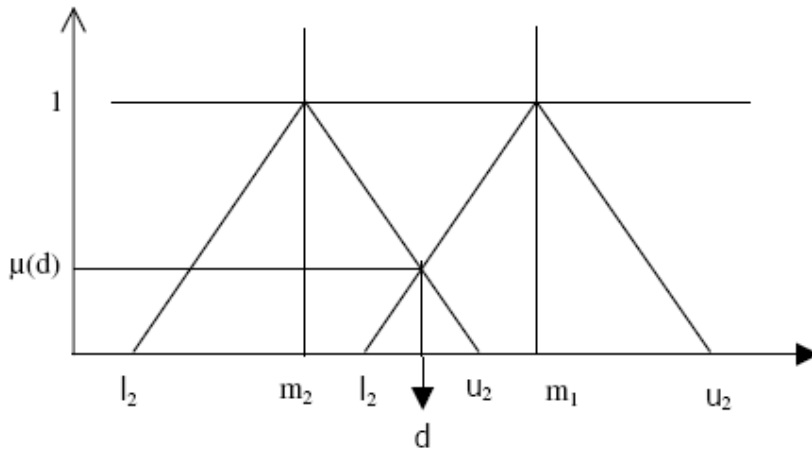
Aşama 2:  $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$  olasılığının derecesi şu şekilde ifade edilir;

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))] \quad (2.15)$$

ve şu eşitlik ifade edilebilir:

$$(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{Eğer } l_1 \geq \mu_2 \\ \frac{l_1 - \mu_2}{(m_2 - \mu_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{Diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.16)$$

Yukarıdaki ifadede yer alan d,  $\mu_{M_1}$  ve  $\mu_{M_2}$  arasındaki en yüksek kesişme noktasının ordinatıdır. (Bkz. Şekil 2.6.) [12]



Şekil 2.6.  $M_1$  ve  $M_2$  arasındaki kesişim

$M_1$  ve  $M_2$  değerlerini karşılaştırabilmek için  $V(M_1 \geq M_2)$  ve  $V(M \geq M_1)$  değerlerine gerek vardır.

Aşama 3: Bir dışbükey bulanık sayının olasılığı  $M_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) olarak gösterilen  $k$  dışbükey bulanık sayılardan daha büyüktür.

$$V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) = V[(M \geq M_1) \text{ ve } (M \geq M_2) \text{ ve} \dots \text{ve } (M \geq M_k)] = \min_{V(M \geq M_i), i=1,2,\dots,k} \quad (2.17)$$

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (2.18)$$

varsayımı altında  $k=1,2,\dots,n$ ;  $k \neq i$  için ağırlık vektörü

$$W = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (2.19)$$

ifadesi ile belirlenir. Burada  $A_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ )  $n$  adet nesneyi göstermektedir.

Aşama 4: Normalizasyon ile normleştirilmiş ağırlık vektörleri elde edilir, burada  $W$  bulanık olmayan bir sayıdır.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (2.20)$$

## **BÖLÜM 3. ALÜMİNYUM TESİSİNDE HTEA VE ÖNERİLEN MODELLERİN UYGULANMASI**

### **3.1. HTEA Uygulaması**

#### **3.1.1. Uygulama alanı**

Bilindiği gibi dünyada ve Türkiye’de Toplam Kalite ve Sürekli İyileştirme kavramları gittikçe önem kazanmaktadır. Güncel rekabet ortamında firmalar ISO 9001, ISO 14001 gibi Kalite Yönetim Sistemleri ile kalitelerini tescil ettirmekte böylece müşterilerine kaliteli ve güvenli ürün/hizmet taahhüdünde bulunmaktadırlar. Fakat hızla gelişen teknoloji ve kalite anlayışı, müşterilerin beklentilerini bu anlamda da yükseltmektedir. Özellikle otomotiv, elektronik, beyaz eşya gibi katma değeri yüksek ürünlerin üretildiği sektörlerde bu kalite güvence sistemleri tek başına yeterli olmamakta; firmanın kullandığı kalite araç ve metotları ile uyguladığı sürekli iyileştirme faaliyetleri de büyük önem taşımaktadır. Hata türü etkileri analizi(HTEA), istatistiksel proses kontrol (İPK), ölçüm sistemleri analizi (MSA), üretim kontrol planı(APQP), kaizen uygulamaları, poka-yoke en çok kullanılanlar arasında sayılabilir. Hatta otomotiv üreticileri; daha kaliteli hammadde, yarı mamul tedarik edebilmek için bu iyileştirme metotları ve kalite araçlarının bazılarının kullanımını, “TS 16949: Otomotiv üretimi ve ilgili yedek parça üreticisi kuruluşlar için ISO 9001:2000’in uygulanmasına dair özel şartlar” standardı ile zorunlu hale getirmiştir.

Bu çalışmada uygulamanın yapılacağı firma, bir alüminyum tesisi olup; alüminyum profil (pres, boya, eloksal), pvc, kompozit panel üretimi yapmaktadır. Firma, otomotiv sektörü de dahil olmak üzere çok çeşitli sektörlerin hammadde ve yarı mamul tedarikçisi olduğundan; bazı profiller için yukarıda bahsedilen TS 16949 standardı hükümlerince, bazı profiller için ise müşteri talebi doğrultusunda HTEA uygulamaktadır.

### 3.1.2. Alüminyum tesisinde üretim süreci ve HTEA uygulaması

Bu çalışmada Şekil 3.1.'de genel iş akış şeması verilen Alüminyum üretim tesisi için proses HTEA uygulaması yapılacaktır. Amaç; HTEA ile ürün/prosesin olası hata türlerini ve onların etkilerini tanımak ve değerlendirmek, olası hatanın oluşma şansını azaltacak veya ortadan kaldıracak faaliyetleri belirlemek ve süreci belgelemek olarak tanımlanabilir.

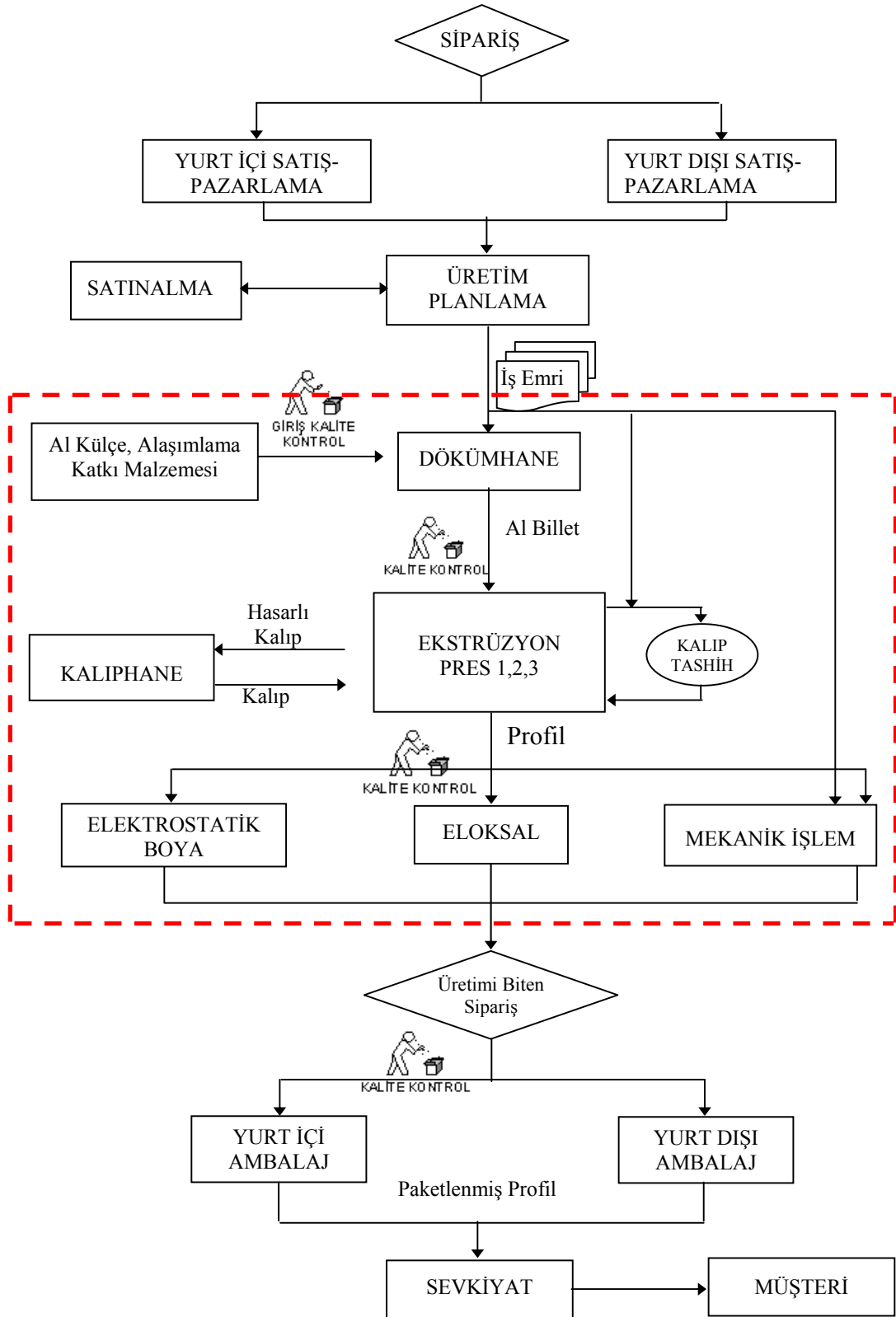
Proses HTEA yardımıyla üretim, montaj ve hizmet prosesleri analiz edilir. Analiz sonucu hata kaynakları belirlenerek ürün gerçekleştirme sürecinin hatasız bir şekilde işlemesi garanti altına alınır. Proses HTEA'nın üretim planlaması aşamasında uygulanması üretim akışlarının uygunluğunun belirlenmesine yardımcı olduğu gibi kalite yeteneğinin garanti altına alınmasını da mümkün kılar.

İlgili firma için proses HTEA Çalışması aşağıdaki durumlarda uygulanır. [20]

- Proses Değişikliklerinde
- Güvenlik problemlerinde
- Yeni tesis, makine, üretim ekipmanlarının devreye alınması aşamasında
- Kalite risklerinin olduğu durumda
- Yüksek hurda oranlarında
- Çevre ve iş risklerinde
- Önemli organizasyonel değişikliklerde

Bu çalışmada HTEA uygulaması yapılan alüminyum profil, üretimi devam eden ancak yüksek hurda oranı nedeniyle iyileştirme çalışmasına ihtiyaç duyulan bir üründür.

Şekil 3.1.'de genel iş akış şeması verilen alüminyum üretim tesisinde, kırmızı çizgi içine alınarak belirtilen ana üretim süreci için HTEA çalışması yapılacaktır. Ana üretim süreci bu çalışmanın yapılacağı alan dikkate alınarak döküm, ekstrüzyon pres ve yüzey işlemler (eloksal, elektrostatik boya, delik, pah kırma vs. içeren mekanik işlemler) olmak üzere 3 ana bölüme ayrılmıştır:



Şekil 3.1. Alüminyum Tesisi Genel İş Akış Şeması

1.DÖKÜM: Satış-Pazarlama ve Ekstrüzyon Üretim'den gelen taleplere göre; üretilecek alüminyum biletlerin çap, alaşım ve boy tespitleri yapılır. Üretim iş emrinde belirtilen çapta kalıpların bulunduğu döküm masası ve kalıpların seçimi yapılır. Döküm masası hazırlanır ve döküm yapılır. Döküm esnasında biletin başından ortasından ve sonundan numune alınır. Üretilen biletlerin uçlarına numaratorle döküm numarası vurulur.

Döküm bittikten sonra biletler homojenleştirme işlemine tabi tutulur. Homojen fırını çıkışında biletler, bilet transfer arabası ile soğutma ünitesine konulur. Soğuması biten biletler, istenilen boyda kesilmek üzere testereye verilir. Üretimi tamamlanan ve kalite güvence elemanınca kontrol edilip onaylanan biletler, bilet koltukaltı ambarına sevk edilir. Buradan dahili irsaliye ile ekstrüzyona verilir.

2. EKSTRÜZYON: Üretim Planlama ve Lojistik Müdürlüğü'nden gelen iş emirlerine göre; iş emrindeki kalıbın açılan siparişi tamamlayıp tamamlayamayacağı, tashih işi olup olmadığı ve üretimin istenen tarihe yetişip yetişmeyeceği ile ilgili ön çalışma yapılarak üretim planlamaya geribildirim yapılır. Üretim birimi; iş emri ve profil teknik resmine göre profilin hangi preste, hangi kalıpla, hangi alaşımdan üretileceğine karar verir. Pres operatörüne bildirilen bu veriler ışığında sipariş sırasına göre üretimin yapılması sağlanır. Üretim bittikten sonra, malzemeler izleyecekleri üretim rotasına göre ayrılır (eloksal, elektrostatik boya, mekanik işlem) ve termikleme işlemine tabi tutulur.

3. YÜZEY/MEKANİK İŞLEM: Üretim planlamadan gelen iş emirleri doğrultusunda, ekstrüzyondan gelen profiller eloksal ve elektrostatik birimlerinde; renklendirilir, yüzey etkileri verilir veya mekanik işlemde; siparişte belirtilen kesme, delme, boşaltma, diş açma, frezeleme vb. işlemleri yapılır.

### **3.1.2.1. Olası hata türlerinin tespiti**

HTEA ekibi ilk aşamada uygulamanın yapılacağı profil için olası hata türlerini belirler. Mevcut durumda görülen ve henüz ortaya çıkmamış ancak oluşma riski olan tüm hatalar listelenir. Geçmiş dönemin hata analizleri, hurda dökümleri ve müşteri şikayetleri gibi raporlar veri olarak kullanılabilir. Bu çalışmada ele alınan alüminyum profil döküm +

ekstrüzyon + elektrostatik boya işlemlerine tabi tutulan bir otomobil parçasıdır. Bu süreçlerde görev alan birer teknik eleman (mühendis veya operatör) ile kalite mühendisinden oluşan HTEA ekibi, profil için olası hataları şu şekilde belirlemiştir:

#### Tip 1: Alaşım Hatası

Profilin meydana geldiği Al, Mg, Si, Mn, Cr...vb. hammaddelerin dökümhanede alaşımlandırma esnasında doğru oranda kullanılmaması sonucunda renk, yumuşaklık-sertlik, mukavemet ve kimyasallarla farklı tepkileşimler gibi problemler ortaya çıkar. Kimyasal analiz sonucunda istenen özellikleri taşımayan profiller hurdaya atılır.

#### Tip 2: Kalıp Hatası (ölçü problemi)

Kalıp yüzeyinin aşınmış, eskimiş veya yüksek sıcaklıkta çok üretim yapılmasından ölçüleri deforme olmuş olabilir. Ayrıca teknik resimde belirtilen profil şekli her zaman sıcak preste birebir aynı oluşmayabilir. Keskin kıvrım, dönüş vb. formlar profilin kalıptan çıkışı ile soğuması arasında geçen sürede bozulabilir. Bu, yanlış kovan ve kalıp seçimi yapıldığının göstergesidir. Yanlış kalıp veya aşınmış kalıp kaynaklı ölçü hatalı profiller müşteri toleranslarının dışına çıktığı zaman hurdaya ayrılır.

#### Tip 3: Yüzey Pürüzlülüğü

Aşınmış kalıp, kirli hammadde, soğuma izleri, testere izleri, taşıma ve manipülasyon kaynaklı izlerin tamamı profilin yüzey kalitesini bozar. Perthometer yüzey pürüzlülük ölçümünden geçemeyen tüm bu izler profilin hurdaya ayrılmasına sebep olur.

#### Tip 4: Yanlış Boy Kesim

Ekstrüzyon presten çıkan uzun boy profiller, iş emrinde belirtilen boyda kesilmelidir. Uzun boy kesimi, ikinci bir düzeltme-kesme işlemi ile telafi edilebilir, ancak kısa boy telafi edilemez. Kısa boy kesilen profiller, yeniden eritmek üzere hurdaya atılır.

#### Tip 5. Boya Mikron Düşüklüğü/Yüksekliği

Ekstrüzyon gelen profiller elektrostatik biriminde siparişe göre toz boya ile renklendirilir. Boyama işleminde istenenden kalın veya ince boya katmanı uygulanması renk ve fonksiyon açısından müşterinin kullanamayacağı ürünlerin oluşumuna sebep



olabilir. Mikron ölçümünde tolerans dışında çıkan profillerin hurdaya atılması, boya katmanı sökülerek profillerin (aşınmamışsa) yeniden boyanması veya eritilmesi şeklinde olduğundan diğer hata türlerine göre geri dönüşümü daha zordur.

#### Tip 6: Profil Birim Ağırlık Düşüklüğü

Bu hata tipi; kalıp aşınmasına bağlı olarak yüksek ağırlıklı profil üretimi şeklinde olabileceği gibi, yeterince ısınmayan kalıp, kovan, maden veya yetersiz pres gücü nedeniyle düşük gramajlı profil üretimi şeklinde de oluşabilir. Ayrıca boya katmanı kalın istenen profillerde, boya ağırlığının hesaba katılmadan üretimin yapılması profil birim ağırlığının tolerans değerini aşmasına sebep olabilir. Bu durumlarda profil birim ağırlığının  $\pm\%10$ u dışında kalan profiller hurdaya ayrılır.

#### 3.1.2.2. HTEA formunun doldurulması ve puanlama

Tablo 3.1.'de verilen HTEA formu, HTEA ekibince belirlenen olası hata türlerine göre doldurulur. Hatanın etkisi (şiddeti), hatanın olasılığı ve hatanın keşfedilebilirliği çarpanlarına değer ataması yapılırken ilgili skalalar (Bkz.Tablo 2.2.,2.3.,2.4.) kullanılır. HTEA uygulamalarında puanlama sırasında farklı puan tabloları kullanılabilir. Bunun nedeni; farklı öncü firmaların geliştirdikleri ve tedarikçilerinden uygulamasını istedikleri puan tabloları, değerlendirmeyi kolaylaştırma amaçlı örnekleme ve eşleştirme bazlı puan tabloları, firmaların geçmiş analiz ve verilerine dayanarak oluşturdukları özel puan tablolarıdır. Bu çalışmada Daimler Chrysler, Ford Motor Company ve General Motors Corporation tarafından hazırlanan "Potential Failure Mode and Effects Analysis Reference Manual" kitapçığında tavsiye edilen puan tabloları kullanılmıştır.

Örneğin;

- Hata tip 2, 4, 5 ve 6 için kontrol metodu; istenen standartta örnekleme yapılarak seçilen parçalara istatistiksel proses kontrol uygulanmasıdır. Bu duruma karşılık gelen değer 6 olarak tespit edilir. (Bkz. Tablo 2.4.)
- Hata tip 2'de hatanın etkisi; ölçü hatası sonucu tolerans dışı ürün, montaj yapılamaması ve ürünün işlevini kaybetmesidir. Bu duruma karşılık gelen değer 8 olarak tespit edilir. (Bkz. Tablo 2.2.)

Tablo 3.1. HTEA Formu

**HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ (HTEA)**Parça No-Adı: **6179 - AS 10 E 1430-05 / 150X7 ALU. LAMA**HTEA Adı / No: **Process FMEA Alcan-6179**Son güncelleme Sayı ve Tarih: **01- 25.11.2007**Hazırlayan: **Kemal ÖRS, Kamil YILDIZ, Rabia CANBOLAT**Proses Sorumlusu : **Döküm, Ekstrüzyon, Elektrostatik**HTEA Tarihi: (Orj) **26.08.2006\_(Rev)-01**Yardımcı : **Kalite Kontrol**

Anahtar Tarih:

**Proses Adı: 6179 - AS\_10\_E\_1430-05 Üretim Prosesi**

Model Yılı:

Proses / Fonksiyon	Olası Hata Türü	Hatanın Olası Etkisi	Şiddet	Hatanın Olası Sebebi	Olasılık	Mevcut Proses		Keşf.	R.Ö.S.	Önerilen Önem(ler)	Sorumlu	Faaliyet Sonucu				
						Önem	Kontrol Metodu					Alınan Önem(ler)	Ş	O	K	RÖS
<b>Döküm /</b> Profil istenen metalurjik özelliklere ve sertliğe sahip olmalıdır.	Alaşım hatası, Sertlik düşüklüğü Hata Tip 1	İşlevsel-kimyasal / montajda profilin ezilmesi veya kimyasal işlemlerde istenen performansı sağlayamaması	8	Operatör hatası	3	Hatalı biletten üretilen tüm profillerin işaretlenerek hurdaya atılması	Kimyasal analiz	4	96						0	
<b>Ekstrüzyon Pres /</b> Parçanın tüm ölçüleri ve toleranslar teknik resime uygun olmalıdır.	Ölçü hatası (kalıp hatası) Hata Tip 2	İşlevsel / müşteri ölçü toleransının dışında, montaj güçlüğü	8	Teknik resim veya kalıp yanlışlığı, ekstrüzyon sıcaklık veya pres hatası	6	Ekstrüzyon çıkışında kritik ölçü kontrolü	Örnekleme muayene, ipk	6	288						0	
<b>Ekstrüzyon Pres /</b> Profil yüzeyi kullanım veya sonraki işlemler için elverişli olmalıdır.	Yüzey Pürüzlülüğü- Çizgileri Hata Tip 3	İşlevsel-görsel / görünür yüzey problemi	3	Ekstrüzyon kalıp veya sıcaklık kaynaklı çizgi oluşumu	6	Ekstrüzyonda standart kalıp, kovan, bilet sıcaklıklarının ve çıkış hızının sağlanması	Gözle muayene	7	126						0	
<b>Ekstrüzyon Pres /</b> Parça boyu teknik resimde verilen uzunlukta olmalıdır.	Yanlış boy kesim Hata Tip 4	İşlevsel / müşteri ölçü toleransının dışında, montaj güçlüğü	7	teknik resim güncellenmemesi / operatör hatası	5	Kesim sonrası boy kontrol	Örnekleme muayene, ipk	6	210						0	
<b>Ekstrüzyon Çıkış /</b> Profil ağırlığı 2,844kg/m olmalıdır.	Profil br. ağırlığı Hata Tip 5	Et kalınlığı ölçüsü düşük	6	Operatör hatası	4	Ekstrüzyon hızının ürün kalite planında belirlenmesi	Örnekleme muayene, ipk	6	144						0	
<b>Statik Boya/</b> Boya kalınlığı istenen düzeyde olmalıdır.	Boya mikron düşüklüğü/ yüksekliği Hata Tip 6	Renk açıklığı, koyuluğu	3	Operatör hatası	3	İstenen boya kalınlığı ve toleranslarının kalite planında belirlenmesi	Örnek plaka kontrol, ipk	6	54						0	

### 3.1.3. HTEA uygulama sonuçları ve yorumlanması

HTEA formunda (Bkz. Tablo 3.1.) görüldüğü gibi değerlendirme sonucunda en riskli olası hata türü, Tip 2: Ölçü Hatası olarak belirlenmiştir. Ölçü hatasının risk öncelik sayısı (RÖS) 288'dir. RÖS'ü 100 puan değerini aşan hatalar için önlem alınması gerekmektedir. Bu durumda ölçü hatası, birincil öncelikli riske sahip ve acil önlem gerektiren hata tipidir. Ayrıca, RÖS değerleri 100'ü aşan Tip 4: Yanlış Boy Kesim (210), Tip 5: Profil Br. Ağırlığı (168) ve Tip 3: Yüzey Pürüzlülüğü (126) için de önlem alınmalıdır. Tip 1: Alaşım Hatasının risk değeri ise 100'ü aşmamakla beraber sınıra oldukça yakındır. Yapılan HTEA çalışması sonucu belirlenen olası hata türlerinin risk sıralaması Tip 2 > Tip 4 > Tip 5 > Tip 3 > Tip 1 > Tip 6 şeklindedir.

## 3.2. HTEA'da AAS Uygulaması

### 3.2.1. AAS modelinin oluşturulması

AAS, seçeneklerin açıkça bilindiği ve bu seçenekleri değerlendirmek için kriterlerin var olduğu durumlarda uygulanabilir. AAS'nin ilk adımı; seçenekler, bu seçenekleri önceliklendirmede kullanılacak kriterler ve bu kriterlerin alt kriterlerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda, HTEA karar probleminde AAS yöntemi uygulanmıştır. AAS yönteminin tercih edilmesindeki sebepler;

- çok sayıda hata kriteri ve alternatifinin var olması,
- kriterlerin birbirlerinden bağımsız olmayıp birbirlerini etkilemesi,
- kriterler arasında karşılıklı etkileşimlerin bulunmasıdır.

Bölüm 3.1.'de verilen geleneksel HTEA çalışmasında her bir hata tipi birbirinden bağımsız olarak ele alınmış ve bu hataların oluşumunun birbirini etkilemediği varsayılmıştır. Ancak üretim sürecinde böyle bir varsayım yapılamaz. Olası hatalardan birinin oluşumu, bir diğer hatanın da oluşumuna neden olabileceği gibi bir hatanın diğerini tümüyle tetiklemesi de mümkündür. AAS yönteminde karar verme problemi bir ağ yapısı ile modellenmekte ve modelleme aşamasında faktörler arasındaki bağımlılıklar ve faktör iç bağımlılıkları dikkate alınmaktadır. [81]

Örneğin geleneksel HTEA’da risk puanları eşit çıkan iki hata tipi için; AAS ile ilişkilendirme yaparsak bu iki hatanın birbirinin oluşumuna etkisi olup olmadığını da hesaba katarak daha sağlıklı bir risk değerlendirmesi yapmış oluruz. Eğer bu hata türlerinden biri diğerinin oluşumuna katkıda bulunuyor ise geleneksel HTEA’da eşit bulduğumuz risk puanları, AAS ile HTEA’da tetikleyen hata tipinin riski fazla olacak şekilde değişecektir. Verilen kararların daha gerçekçi olması için karar modellerinin önemli somut ve soyut, niteliksel ve niceliksel faktörleri de içermesi ve ölçmesi gerekir. Analitik Ağ Süreci tüm bu karmaşık ilişkileri barındırabilen bir ağ yapısıdır. Böylece öncül hata için alınan önlem(ler) her iki hata türünün oluşumunda azalmaya sebep olacak ve HTEA çalışmasından daha verimli bir sonuç elde edilecektir. İşte bu nedenle HTEA’da hataların birbiriyle ilişkilendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Geleneksel HTEA ve AAS-HTEA arasında karşılaştırma yapılabilmesi için Bölüm 3.1’de verilen klasik HTEA örneği üzerinde analitik ağ süreci uygulaması yapılacak ve sonuçları değerlendirilecektir. Hata tiplerinin risk önceliklerini belirlemede kullanılan kriterler, geleneksel HTEA’da risk öncelik sayısını çarpanlarıdır;

Görsel (G)	}	Hatanın Şiddeti (Etkisi) Kriterleri
İşlevsel (İ)		
Kimyasal (K)		
Görülme Oranı (GO)	}	Hatanın Olasılığı Kriterleri
Şikayet Oranı (ŞO)		
Kontrol Metodu (KM)	}	Hatanın Bulunabilirliği Kriterleri
Kontrol Sıklığı (KS)		
Tip1. Yanlış boy kesim	}	Hata Tipleri/Alternatifler
Tip2. Kalıp hatası (ölçü problemi)		
Tip3. Yüzey pürüzlülüğü		
Tip4. Alaşım Hatası		
Tip5. Boya mikron düşüklüğü/ yüksekliği		
Tip6. Profil birim ağırlık düşüklüğü		

Yukarıda verilen kriter kümelerinin alt kriterleri şunlardır:

#### 1. HATANIN ŞİDDETİ:

Alt kriter 1: Görsel : Hatanın etkisi profil yüzeyinde gözle görülebilen kusurların oluşumudur.

Alt kriter 2: İşlevsel: Hatanın etkisi profilin fonksiyon kaybetmesi veya işlevini istenen derecede yerine getirememesidir.

Alt kriter 3: Kimyasal: Hatanın etkisi; profilin alaşımı nedeniyle mukavemet kaybı veya aşırı sertliği ile sürecin sonraki aşamalarında ortaya çıkabilecek kimyasal işlemler ve tepkimelerde problemdir.

#### 2. HATANIN OLASILIĞI:

Alt kriter 1: Görülme Oranı : Hatalı ürünlerin, üretilen ürünlerin tamamına oranı.

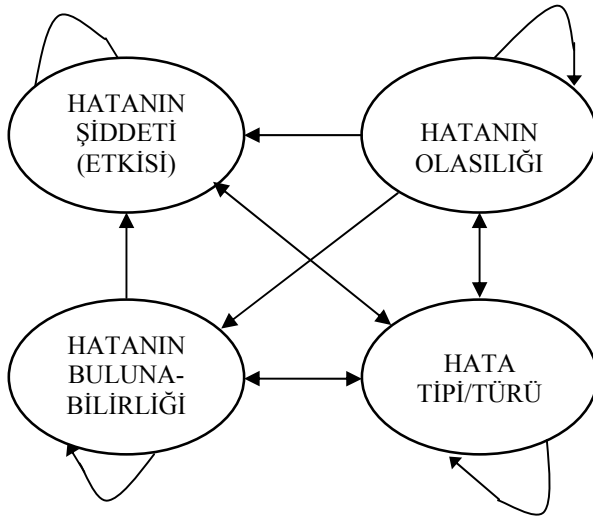
Alt kriter 2: Şikayeti Oranı : Söz konusu hata nedeniyle şikayet edilen ürünlerin, üretilen ürünlerin tamamına oranı.

#### 3. HATANIN BULUNABİLİRLİĞİ:

Alt kriter 1: Kontrol Metodu : Hatalı ürünlerin tespiti için kullanılan alet, teçhizat, ölçüm cihazı, sensör vb.

Alt kriter 2: Kontrol Sıklığı : Hatalı ürünlerin tespiti için yapılan kalite kontrol faaliyetinin frekansı.

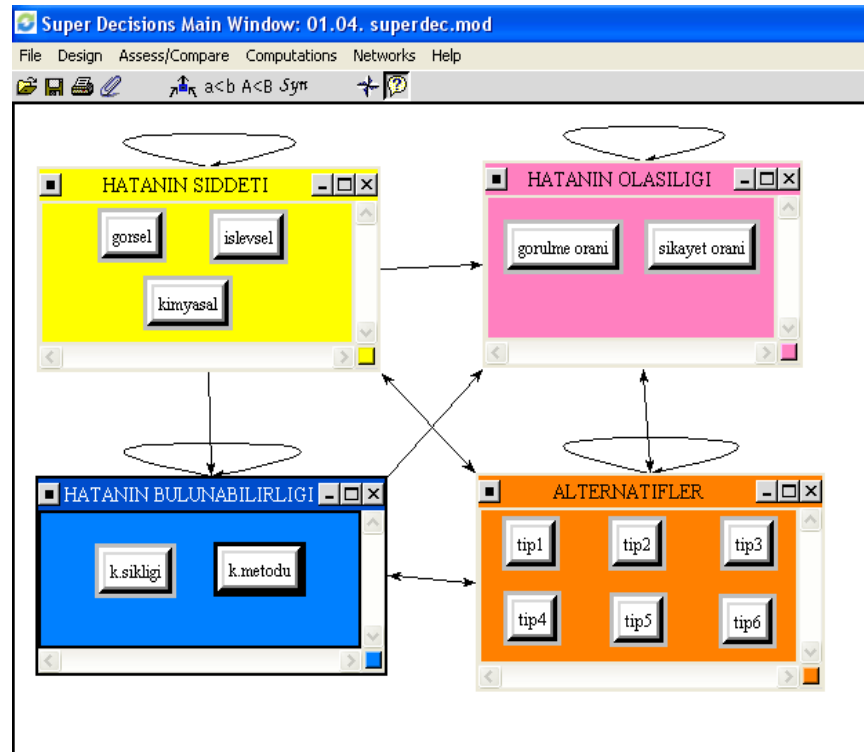
#### 4. HATA TİPLERİ/ALTERNATİFLER (Bölüm 3.1.2.1’de açıklanmıştır.)



Şekil 3.2. Kriterler arasındaki etkileşimler

Hatanın şiddeti; hatanın olasılığı ve bulunabilirliğinden etkilenmekte, hatanın bulunabilirliği ise hatanın olasılığından etkilenmektedir. Bu modelde seçim kümemiz olan alternatifler kümesi, olası hata tiplerini temsil etmekte ve diğer tüm kümeleri etkilemekte, aynı zamanda tüm kümelerden etkilenmektedir. 4 ana kümeden oluşan bu ağ yapısı, Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.

Kriter kümeleri model yapısında belirtildiği gibi alt kriterlere sahiptir. Kriterler ve alt kriterler kendi içlerinde etkileşime sahiptir. Kümeler içindeki düğümlerin (alt kriterlerin) etkileşimleri Şekil 3.3.'te verilen AAS Superdecision model yapısında görülmektedir.



Şekil 3.3. AAS Superdecision Modeli

İki farklı kriter kümesinin alt kriterleri arasındaki ilişkiler ayrı ayrı gösterilmeyip kümeler arasındaki ilişkiyle temsil edilmiştir. Bilgisayara kriter kümeleri ve küme elemanı alt kriterler girildikten sonra ilişkiler tanımlanır. Örneğin 'Hatanın Şiddeti' ve 'Hatanın Olasılığı' arasında tanımlanan tek yönlü ilişki nedeniyle ikili karşılaştırmalarda şiddet alt kriterlerinin olasılık alt kriterlerini nasıl, hangi sayısal üstünlük ile etkilediği

sorgulanır. Tanımlanan ilişki ağı görsel-işlevsel-kimyasal alt kriterleri ile görülme oranı-şikayet oranı arasındaki mümkün tüm tek yönlü ilişkilerin derecelendirilmesini kapsar. Benzer şekilde ‘Alternatifler’ ve ‘Hatanın Şiddeti’ kriter kümeleri arasında çift yönlü ilişki tanımlanmış olması; kriter ve kümeye dahil tüm alt kriterlerin birbirlerine göre üstünlüklerinin derecelendirilmesini gerektirir.

### 3.2.2. Karşılaştırmalı matrisler

AAS modeli oluşturulan hata riski belirleme örneği için, Tablo 3.2’de hangi kontrol hiyerarşisine göre ikili karşılaştırmaların yapılacağı verilmiştir.

Tablo 3.2. İkili Karşılaştırmalar ( X işaretli bağıntılar için karşılaştırmalı matris oluşturulacaktır.)

		Bulunabilirlik Kriterleri		Olasılık Kriterleri		Şiddet Kriterleri			Hata Tipleri						
		KM	KS	GO	ŞO	G	İ	K	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5	Tip6	
Bulunabilirlik Kriterleri	KM	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	KS	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Olasılık Kriterleri	GO	X	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	ŞO	X	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Şiddet Kriterleri	G	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X
	İ	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X
	K	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X
Hata Tipleri	Tip1	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	-	X	X	
	Tip2	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	X
	Tip3	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	-	X	-	
	Tip4	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	
	Tip5	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	X	-	
	Tip6	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	X

Karşılaştırmalar, konuyla ilgili 3 uzmanın cevapladığı anket sonuçlarına göre yapılmıştır. Anket soruları Ek-A’da, uzmanların anket cevapları ve ortalamaları Ek-B’de verilmiştir. Bu veriler Superdecision programına girilerek (Ek-C) karşılaştırmalı matrisler elde edilmiştir. Örnek olarak bulunabilirlik kriterlerinin karşılaştırmalı matrisleri verilmiştir. Ayrıca tüm karşılaştırmalı matrisler Ek-D’de sunulmuştur.

### I.Bulunabilirlik kriterlerinin etkilenimi

#### I.1.a. Olasılık Kriterlerinin Kontrol Metodu Üzerine Etkileri:

KM	GO	ŞO	Geo.Ort.	GAV
GO	1	0,333	0,58	0,25
ŞO	3	1	1,73 2,31	0,75

Kontrol metodunun olasılık kriterleri açısından değerlendirmesi yapılırken; şikayet oranı, görülme oranına göre orta derecede önemli olarak tespit edilmiştir.

#### I.2.a. Hata Tiplerinin Kontrol Metodu Üzerine Etkileri:

KM	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5	Tip6	Geo.Ort.	GAV
Tip1	1	4	0,333	5	3	5	2,15	0,26
Tip2	0,25	1	0,2	3	0,25	1	0,68	0,08
Tip3	3	5	1	7	2	5	3,19	0,38
Tip4	0,2	0,333	0,143	1	0,2	0,2	0,27	0,03
Tip5	0,333	4	0,5	5	1	3	1,47	0,17
Tip6	0,2	1	0,2	5	0,333	1	0,64 8,40	0,08

Kontrol metodunun hata tipleri açısından değerlendirmesi yapıldığında ise tip 1; tip 2’ye göre az kuvvetle daha önemli, tip 4 ve tip 6’ya göre kuvvetli derecede önemli, tip 5’e göre orta derecede önemli olarak tespit edilmiştir.

### **3.2.3. Ağırlıklandırılmamış süpermatris**

Hesaplanan bu etkiler süper matriste kendine karşılık gelen hücelere yerleştirilirler. Örneğin olasılık kriterlerinin Hata tip2 üzerindeki etkilerini gösteren GAV süper matriste ‘Tip2’ sütunu ile ‘GO’ ve ‘FO’ satırlarının kesiştiği hücelere yerleştirilir.



Tablo 3.3. Ağırlıklandırılmamış Süpermatris

		Bulunabilirlik Kriterleri		Olasılık Kriterleri		Şiddet Kriterleri			Hata Tipleri					
		KM	KS	GO	ŞO	G	İ	K	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5	Tip6
Bulunabilirlik Kriterleri	KM	0	1	0	0	0,5	0,33	0,25	0,87	0,25	0,8	0,17	0,83	0,2
	KS	0	0	0	0	0,5	0,67	0,75	0,12	0,75	0,2	0,83	0,17	0,8
Olasılık Kriterleri	GO	0,25	0,17	0	1	0,83	0,75	0,75	0,67	0,75	0,75	0,67	0,75	0,75
	ŞO	0,75	0,83	0	0	0,17	0,25	0,25	0,33	0,25	0,25	0,33	0,25	0,25
Şiddet Kriterleri	G	0	0	0	0	0	0	0	0,32	0,19	0,65	0,23	0,65	0,16
	İ	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,73	0,23	0,65	0,18	0,59
	K	0	0	0	0	1	1	0	0,07	0,08	0,12	0,12	0,18	0,25
Hata Tipleri	Tip1	0,26	0,21	0,06	0,11	0,19	0,22	0,05	1	0	0,67	0	0,23	0,26
	Tip2	0,08	0,03	0,4	0,48	0,3	0,38	0,31	0	1	0	0	0	0,64
	Tip3	0,38	0,41	0,24	0,21	0,05	0,12	0,12	0	0	0,33	0	0,65	0
	Tip4	0,03	0,12	0,1	0,09	0,3	0,06	0,31	0	0	0	1	0	0
	Tip5	0,17	0,18	0,05	0,04	0,11	0,11	0,13	0	0	0	0	0,12	0
	Tip6	0,08	0,06	0,15	0,07	0,04	0,12	0,07	0	0	0	0	0	0,1

AAS modelinde aralarında ilişki tanımlanan ve Tablo 3.2’de hangi kontrol hiyerarşisine göre karşılaştırılacağı verilen alt kriterler için ikili karşılaştırma matrisleri hazırlanır. AAS modelinin Superdecision paket programında yapılan matris işlemleri ve elde edilen sonuçlar EK-E’de sunulmuştur.

### 3.2.4. Küme ağırlıkları matrisi

AAS’de bilinen üç temel matris dışında yer alan, kümelerin birbirleri ile ilişkilerini gösteren matristir. Bu çalışmada, kriterler 1 puan(eşit önem) ile değerlendirilmiştir.

#### 1. Bulunabilirlik Kriterleri Kümesi Üzerinde Diğer Kümelerin Ağırlıkları:

Bul.	Bul	Olasılık	Alternatifler	Geo.Ort.	GAV
Bul.	1	1	1	1	0,3333
Olasılık	1	1	1	1	0,3333
Alternatifler	1	1	1	1	0,3333

## 2. Olasılık Kriterleri Kümesi Üzerinde Diğer Kümelerin Ağırlıkları:

Olasılık	Olasılık	Alternatifler	Geo.Ort.	GAV
Olasılık	1	1	1	0,5
Alternatifler	1	1	1	0,5

## 3. Şiddet Kriterleri Kümesi Üzerinde Diğer Kümelerin Ağırlıkları:

Etki	Bul	Olasılık	Şiddet	Alternatifler	Geo.Ort.	GAV
Bul.	1	1	1	1	1	0,25
Olasılık	1	1	1	1	1	0,25
Şiddet	1	1	1	1	1	0,25
Alternatifler	1	1	1	1	1	0,25

## 4. Alternatifler (Hata Tipleri) Kümesi Üzerinde Diğer Kümelerin Ağırlıkları:

Alternatifler	Bul	Olasılık	Şiddet	Alternatifler	Geo.Ort.	GAV
Bul.	1	1	1	1	1	0,25
Olasılık	1	1	1	1	1	0,25
Şiddet	1	1	1	1	1	0,25
Alternatifler	1	1	1	1	1	0,25

Tablo 3.4. Küme Ağırlıkları Matrisi

	Bulunabilirlik Kriterleri	Olasılık Kriterleri	Şiddet Kriterleri	Hata Tipleri
Bulunabilirlik	0,237690	0,000000	0,250000	0,250000
Olasılık	0,169141	0,500000	0,250000	0,250000
Şiddet	0,432596	0,000000	0,250000	0,250000
Hata Tipleri	0,160573	0,500000	0,250000	0,250000

3.2.5.

**Ağırlıklandırılmış süpermatris**

Ağırlıklandırılmamış süpermatristeki küme kesişimlerinde bulunan hücrelerin, küme ağırlık matrisindeki ağırlık değerleri ile çarpılmasından elde edilen matristir. Yani alt kriterlerin ait olduğu ana kriterin ağırlığından etkilendirilmesi ile elde edilen matristir. Ağırlıklandırılmış süper matris stokastik yapıdadır, yani sütun toplamları 1'e eşittir. Süpermatrisin ağırlıklandırılması işlemi tamamlandıktan sonra limitlendirme aşamasına geçilir.

Tablo 3.5. Ağırlıklandırılmış Süpermatris

		Bulunabilirlik Kriterleri		Olasılık Kriterleri		Şiddet Kriterleri			Hata Tipleri					
		KM	KS	GO	ŞO	G	İ	K	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5	Tip6
Bulunabilirlik Kriterleri	KM	0,00	0,42	0,00	0,00	0,13	0,08	0,08	0,22	0,06	0,20	0,04	0,21	0,05
	KS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,17	0,25	0,03	0,19	0,05	0,21	0,04	0,20
Olasılık Kriterleri	GO	0,13	0,05	0,00	0,50	0,21	0,19	0,25	0,17	0,19	0,19	0,17	0,19	0,19
	ŞO	0,38	0,25	0,00	0,00	0,04	0,06	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06
Şiddet Kriterleri	G	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,05	0,16	0,06	0,19	0,04
	İ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,18	0,06	0,16	0,03	0,15
	K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,00	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,06
Hata Tipleri	Tip1	0,13	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,02	0,25	0,00	0,17	0,00	0,57	0,06
	Tip2	0,03	0,01	0,40	0,24	0,08	0,10	0,10	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,16
	Tip3	0,19	0,11	0,24	0,11	0,01	0,03	0,04	0,00	0,00	0,08	0,00	0,16	0,00
	Tip4	0,02	0,04	0,99	0,04	0,08	0,01	0,10	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00
	Tip5	0,08	0,05	0,05	0,02	0,28	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
	Tip6	0,04	0,02	0,15	0,03	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26

### 3.2.6. Limit matris

Limit matris, ağırlıklandırılmış süpermatrisin aynı satıra karşılık gelen sütun değerlerinin birbirine eşit olana kadar kuvvetinin alınması ile elde edilen matristir. Limitlendirme işleminin amacı; tekrar sayısının artırılarak, örnek olay yığınının genişletilmesi ve böylece modelin güvenilirliğinin artırılmasıdır. Limitlendirilmiş süpermatris bize hangi hata tipinin, belirlemiş olduğumuz kriterlere göre en riskli hata türü olduğunu verir. Normalizasyon ile hataların gerçek ağırlıkları(riskleri) bulunur. Superdecision'dan elde edilen limit değerler ve kriter öncelik sonuçları EK-E'dedir.

Tablo 3.6. Limit Matris

		Bulunabilirlik Kriterleri		Olasılık Kriterleri		Şiddet Kriterleri			Hata Tipleri					
		KM	KS	GO	ŞO	G	İ	K	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5	Tip6
Bul. Kriterleri	KM	0,0990	0,0990	0,0990	0,0990	0,0990	0,0990	0,0990	0,0990	0,0990	0,0990	0,0990	0,0990	0,0990
	KS	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760	0,0760
Olasılık Kriterleri	GO	0,1694	0,1694	0,1694	0,1694	0,1694	0,1694	0,1694	0,1694	0,1694	0,1694	0,1694	0,1694	0,1694
	ŞO	0,0945	0,0945	0,0945	0,0945	0,0945	0,0945	0,0945	0,0945	0,0945	0,0945	0,0945	0,0945	0,0945
Şiddet Kriterleri	G	0,0379	0,0379	0,0379	0,0379	0,0379	0,0379	0,0379	0,0379	0,0379	0,0379	0,0379	0,0379	0,0379
	İ	0,0578	0,0578	0,0578	0,0578	0,0578	0,0578	0,0578	0,0578	0,0578	0,0578	0,0578	0,0578	0,0578
	K	0,0357	0,0357	0,0357	0,0357	0,0357	0,0357	0,0357	0,0357	0,0357	0,0357	0,0357	0,0357	0,0357
Hata Tipleri	Tip1	0,0783	0,0783	0,0783	0,0783	0,0783	0,0783	0,0783	0,0783	0,0783	0,0783	0,0783	0,0783	0,0783
	Tip2	0,1503	0,1503	0,1503	0,1503	0,1503	0,1503	0,1503	0,1503	0,1503	0,1503	0,1503	0,1503	0,1503
	Tip3	0,0933	0,0933	0,0933	0,0933	0,0933	0,0933	0,0933	0,0933	0,0933	0,0933	0,0933	0,0933	0,0933
	Tip4	0,0429	0,0429	0,0429	0,0429	0,0429	0,0429	0,0429	0,0429	0,0429	0,0429	0,0429	0,0429	0,0429
	Tip5	0,0281	0,0281	0,0281	0,0281	0,0281	0,0281	0,0281	0,0281	0,0281	0,0281	0,0281	0,0281	0,0281
	Tip6	0,0368	0,0368	0,0368	0,0368	0,0368	0,0368	0,0368	0,0368	0,0368	0,0368	0,0368	0,0368	0,0368

Tablo 3.7. AAS ile Edilen Sonuç

Hata Türleri	Limitlendirilmiş Değerler	Gerçek Ağırlık
Tip1	0,0783	0,18222
Tip2	0,1503	0,34969
Tip3	0,0933	0,21715
Tip4	0,0429	0,09977
Tip5	0,0281	0,06546
Tip6	0,0368	0,08559
Toplam	0,4297	

### 3.2.7. AAS-HTEA uygulama sonuçları ve yorumlanması

Bu işlemler sonucunda elde edilen sonuç Tablo 3.7.'dedir. Yapılan değerlendirme sonucu en riskli hata tipi, Tip 2: Ölçü Hatası olarak belirlenmiştir. Ölçü hatasının risk yüzdesi %35'tir. Yapılan AAS-HTEA çalışması sonucu belirlenen olası hata türlerinin risk sıralaması Tip 2 > Tip 3 > Tip 1 > Tip 4 > Tip 6 > Tip 5 şeklindedir.

### 3.3. Bulanık AAS-HTEA Uygulaması

#### 3.3.1. Chang'in derece analizi metodu

Bu aşamada, hata tipleri ile kriterleri arasındaki ilişki düzeyi incelenir. Bulanık AAS uygulamasında da, önceki bölümlerde kullanılan 6 hata türlü örnek kullanılacaktır.

HTEA'da tüm hata tipleri ve hata kriterleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde "Chang'in Derece Analizi Metodu" kullanılmıştır. HTEA'da risk önceliği belirleme, en genel tanımıyla bir karar problemidir. Bu karar probleminde kesin veriler olmaması ve kişilerin subjektif değerlendirmeleri ile sonuca ulaşılması, problemin bulanık yöntemlerle çözülmesi ihtiyacını ortaya çıkarır. Chang'in Derece Analizi Metodu; hata türü ve kriterleri arasındaki ağ yapısını ve karar probleminin gerektirdiği bulanık yaklaşımı aynı anda sağlayan entegre bir algoritmadır. Bu çalışmada Chang algoritmasının tercih edilmesinin nedenleri;

- hata risklerinin değerlendirme aşamasında kesin verilerin olmaması ve kişilerin subjektif değerlendirmeleri ile sonuca ulaşılması gereği; yani bulanıklık
- hata türünün sebepler, olasılıklar, etkiler, bulunabilirlik ve diğer hata türleri ile aynı anda ilişkilendirileceği bir model geliştirilmesi ihtiyacı; yani ağ yapısıdır.

Alüminyum profil HTEA çalışmasında hata tiplerinin risk önceliklerinin belirlenmesinde kullanılan Bulanık Analitik Ağ Süreci Algoritması'nın adımları şu şekildedir:

Adım 1: Hata tiplerinin ve hata kriterlerinin tanımlanması

Adım 2: Hata kriterlerinin önem derecelerinin hesaplanması ( $W_1$ )

Adım 3: Her bir hata tipi için hata kriterlerinin belirlenmesi ( $W_2$ )

Adım 4: Her hata tipi için hata kriterleri iç bağımlılık matrislerinin oluşturulması ( $W_3$ )

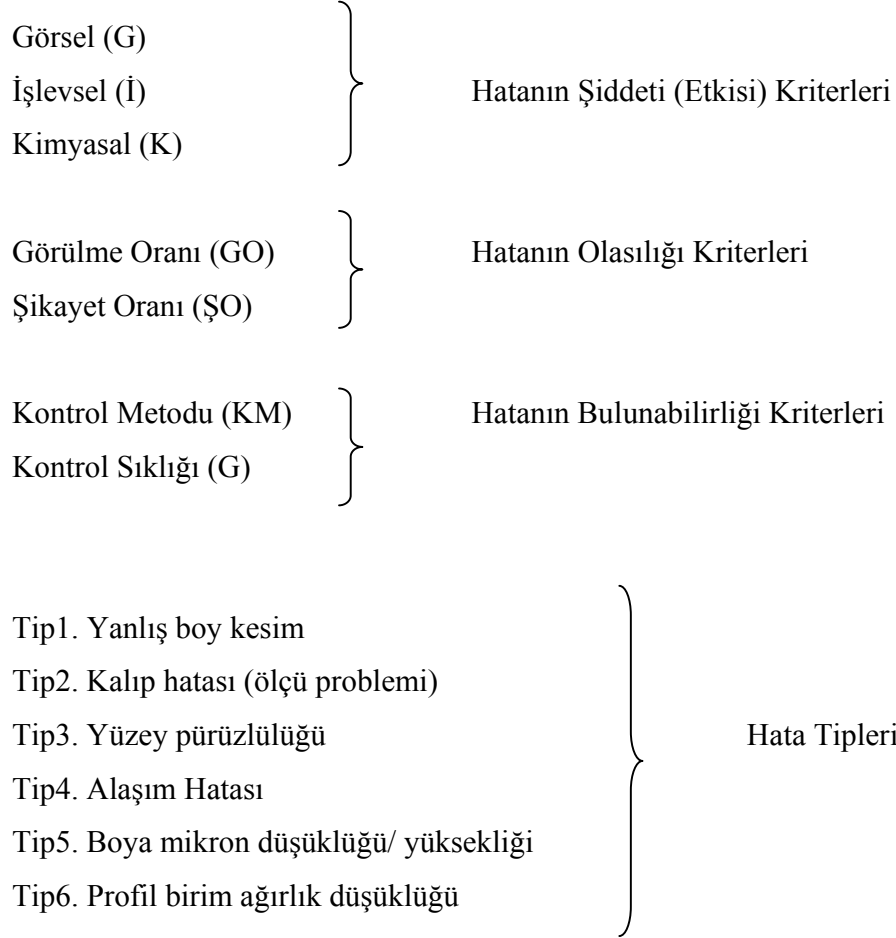
Adım 5: Her bir hata tipi için iç bağımlılık matrisi oluşturulması ( $W_4$ )

Adım 6: Hata kriterleri için birbirine bağlı önceliklerin belirlenmesi ( $W_C = W_3 * W_1$ )

Adım 7: Hata tipleri için birbirine bağlı risk önceliklerinin belirlenmesi ( $W_A = W_4 * W_2$ )

Adım 8: Hata tipleri için toplam risk önceliklerinin belirlenmesi ( $W_{ANP} = W_A * W_C$ )

Adım 1: Hata tiplerinin ve hata kriterlerinin tanımlanması



Adım 2: Hata kriterlerinin önem derecelerinin hesaplanması ( $W_1$ )

AAS uygulamasında, HTEA'da kullanılan 3 ana hata kriterinin birbirine üstünlüğü yoktur ve hepsine eşit önem derecesinde puan verilerek değerlendirme yapılmıştır. Bu çerçevede;  $W_1$  matrisimiz şu şekilde olmalıdır:

Tablo 3.8.  $W_1$  Matris Yapısı

$$W_1 = \begin{bmatrix} \text{Bulunabilirlik kriterleri} \\ \text{Olasılık kriterleri} \\ \text{Etki kriterleri} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,333 \\ 0,333 \\ 0,333 \end{bmatrix}$$

Ancak  $W_3$  matrisi ile çarpım yapılabilmesi için 7 satırlı bir  $W_1$  matrisine ihtiyacımız vardır. Bu durumda hata kriterleri önem derecelerini tespit ederken, alt kriterler detay düzeyinde derecelendirme yapılmalıdır. Buna göre;

Tablo 3.9.  $W_1$  Matrisi

$$W_1 = \begin{bmatrix} \text{KM} \\ \text{KS} \\ \text{GO} \\ \text{ŞO} \\ \text{GO} \\ \text{İ} \\ \text{K} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,166 \\ 0,166 \\ 0,222 \\ 0,111 \\ 0,083 \\ 0,166 \\ 0,083 \end{bmatrix}$$

şeklinde oluşur.

Adım 3: Her bir hata tipi için hata kriterlerinin belirlenmesi ( $W_2$ )

Bu adımda her bir hata tipi için hata kriterlerinin ilişkisel öneminin hesaplanması gerekmektedir. Ancak bu tespit Bölüm 3.2.'de uygulanan AAS-HTEA örneğinde yapıldığı için Tablo.3.5.'te bulunan değerler kullanılacaktır.

Tablo 3.10.  $W_2$  Matrisi

$W_2$	KM	KS	GO	ŞO	G	İ	K
Tip1	0,26	0,21	0,06	0,11	0,19	0,22	0,05
Tip2	0,08	0,03	0,4	0,48	0,3	0,38	0,31
Tip3	0,38	0,41	0,24	0,21	0,05	0,12	0,12
Tip4	0,03	0,12	0,1	0,09	0,3	0,06	0,31
Tip5	0,17	0,18	0,05	0,04	0,11	0,11	0,13
Tip6	0,08	0,06	0,15	0,07	0,04	0,12	0,07

Adım 4: Her hata tipi için hata kriterlerinin iç bağımlılık matrisi oluşturulması ( $W_3$ )

Tablo 3.11. Hata Kriterleri İçsel Bağımlılık Matrisi Yapısı

	KM	KS	GO	ŞO	G	İ	K
KM	-	↑	-	-	↑	↑	↑
KS	-	-	-	-	↑	↑	↑
GO	↑	↑	-	↑	↑	↑	↑
ŞO	↑	↑	-	-	↑	↑	↑
G	-	-	-	-	-	-	-
İ	-	-	-	-	-	-	-
K	-	-	-	-	↑	↑	-

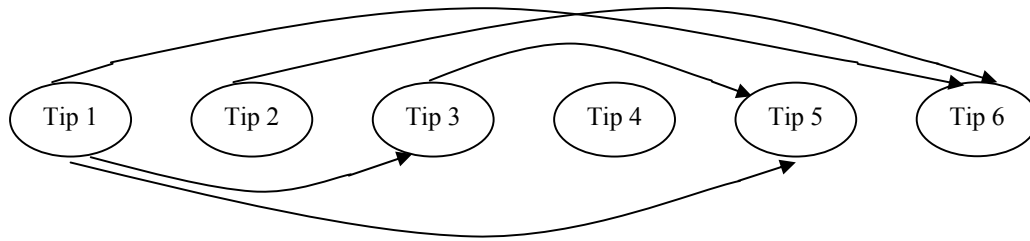
Tablo 3.11.'de belirtilen alanlar için gereken karşılaştırmalar Bölüm 3.2.'de uygulanan AAS-HTEA örneğinde yapıldığı için Tablo.3.5.'te bulunan değerler kullanılmıştır.  $W_3$  matrisi süpermatriste hata kriterleri satırları ile aynı kriter sütunlarının kesiştiği alandır.

Tablo 3.12.  $W_3$  Matrisi

$W_3$	KM	KS	GO	ŞO	G	İ	K
KM	0	1	0	0	0,5	0,33	0,25
KS	0	0	0	0	0,5	0,67	0,75
GO	0,25	0,17	0	1	0,83	0,75	0,75
ŞO	0,75	0,83	0	0	0,17	0,25	0,25
G	0	0	0	0	0	0	0
İ	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	1	1	0

Adım 5: Her bir hata tipi için iç bağımlılık matrisi oluşturulması ( $W_4$ )

$W_4$  matrisinin hesaplanması için hata tipleri arasındaki içsel bağımlılık Şekil 3.5. ve Tablo 3.13. yardımıyla görselleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Hata Tipleri Arasında İçsel Bağımlılık

Tablo 3.13. Hata Tipleri Arasında İçsel Bağımlılık Matrisi Yapısı

	Hata Tipleri					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5	Tip6
Tip1	↑	-	↑	-	↑	↑
Tip2	-	↑	-	-	-	↑
Tip3	-	-	↑	-	↑	-
Tip4	-	-	-	↑	-	-
Tip5	-	-	-	-	↑	-
Tip6	-	-	-	-	-	↑



Hangi hata tipinin diğer hatalar üzerinde etkisi olduğu Şekil 3.5.'te gösterilmiştir. Burada kurulan ilişkiler çerçevesinde Tablo 3.13.'te  $\uparrow$  işareti ile belirtilen alanlar için alternatiflerin birbirlerine göre üstünlük derecelendirmesinin yapılması gerekmektedir.  $W_4$  matrisini oluşturacak bu karşılaştırmalar, AAS uygulaması aşamasında Bölüm 3.2.3 Ağırlıklandırılmamış Süpermatris başlığı altında yapılmıştır. Söz konusu süpermatriste hata tipleri satır ve sütunlarının kesiştiği alan  $W_4$  matrisini verir.

Tablo 3.14.  $W_4$  Matrisi

$W_4$	Hata Tipleri					
	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5	Tip6
Tip1	1	0	0,67	0	0,23	0,26
Tip2	0	1	0	0	0	0,64
Tip3	0	0	0,33	0	0,65	0
Tip4	0	0	0	1	0	0
Tip5	0	0	0	0	0,12	0
Tip6	0	0	0	0	0	0,1

Adım 6: Hata kriterleri için birbirine bağlı önceliklerin belirlenmesi ( $W_C = W_3 * W_1$ )

Bu adımda, dördüncü adımda hesaplanan hata tipleri için hata kriterlerinin iç bağımlılık matrisi ile ikinci adımda hesaplanan hata kriterlerinin önem derecelerinin çarpılmasıyla hata kriterlerinin birbirine bağlı öncelikleri hesaplanır. Matris çarpımları MATLAB 7.0.1 programında yapılmıştır. Bulanık-AAS MATLAB çözümü sonuçları Ek-F'te verilmiştir.

Tablo 3.15.  $W_C$  Matrisi

$$W_C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0,5 & 0,33 & 0,25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,67 & 0,75 \\ 0,25 & 0,17 & 0 & 1 & 0,83 & 0,75 & 0,75 \\ 0,75 & 0,83 & 0 & 0 & 0,17 & 0,25 & 0,25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,166 \\ 0,166 \\ 0,222 \\ 0,111 \\ 0,083 \\ 0,166 \\ 0,083 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,283 \\ 0,215 \\ 0,436 \\ 0,339 \\ 0 \\ 0 \\ 0,249 \end{bmatrix}$$

Adım 7: Hata tipleri için birbirine bağlı risk önceliklerinin belirlenmesi ( $W_A = W_4 * W_2$ )

Bu adımda, beşinci adımda hesaplanan hata tipleri için iç bağımlılık dereceleriyle üçüncü adımda hesaplanan hata tiplerinin ilişkisel önem derecelerinin çarpılmasıyla hata tiplerinin birbirine bağlı öncelikleri hesaplanır.

Tablo 3.16.  $W_A$  Matrisi

$$W_A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0,67 & 0 & 0,23 & 0,26 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0,64 \\ 0 & 0 & 0,33 & 0 & 0,65 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,12 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,26 & 0,21 & 0,06 & 0,11 & 0,19 & 0,22 & 0,05 \\ 0,08 & 0,03 & 0,40 & 0,48 & 0,30 & 0,38 & 0,31 \\ 0,38 & 0,41 & 0,24 & 0,21 & 0,05 & 0,12 & 0,12 \\ 0,03 & 0,12 & 0,10 & 0,09 & 0,30 & 0,06 & 0,31 \\ 0,17 & 0,18 & 0,05 & 0,04 & 0,11 & 0,11 & 0,13 \\ 0,08 & 0,06 & 0,15 & 0,07 & 0,04 & 0,12 & 0,07 \end{bmatrix}$$

$W_A$  matrisinin elde edilmesi ile nihai risk değerlerini gösterecek olan  $W_{ANP}$  matrisinin hesaplanması aşamasına geçilebilir.

Tablo 3.16. (Devam)  $W_A$  Matrisi

$$W_A = \begin{bmatrix} 0,5745 & 0,5417 & 0,2713 & 0,2781 & 0,2592 & 0,3569 & 0,1785 \\ 0,1312 & 0,0684 & 0,4960 & 0,5248 & 0,3256 & 0,4568 & 0,3548 \\ 0,2359 & 0,2523 & 0,1117 & 0,0953 & 0,0880 & 0,1111 & 0,1241 \\ 0,0300 & 0,1200 & 0,1000 & 0,0900 & 0,3000 & 0,0600 & 0,3100 \\ 0,0200 & 0,0216 & 0,0060 & 0,0048 & 0,0132 & 0,0132 & 0,0156 \\ 0,0080 & 0,0060 & 0,0150 & 0,0070 & 0,0040 & 0,0120 & 0,0070 \end{bmatrix}$$

Adım 8: Hata tipleri için toplam risk önceliklerinin belirlenmesi ( $W_{ANP} = W_A * W_C$ )

Tablo 3.17.  $W_{ANP}$  Matrisi

$$W_{ANP} = \begin{bmatrix} 0,5745 & 0,5417 & 0,2713 & 0,2781 & 0,2592 & 0,3569 & 0,1785 \\ 0,1312 & 0,0684 & 0,4960 & 0,5248 & 0,3256 & 0,4568 & 0,3548 \\ 0,2359 & 0,2523 & 0,1117 & 0,0953 & 0,0880 & 0,1111 & 0,1241 \\ 0,0300 & 0,1200 & 0,1000 & 0,0900 & 0,3000 & 0,0600 & 0,3100 \\ 0,0200 & 0,0216 & 0,0060 & 0,0048 & 0,0132 & 0,0132 & 0,0156 \\ 0,0080 & 0,0060 & 0,0150 & 0,0070 & 0,0040 & 0,0120 & 0,0070 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,2830 \\ 0,2150 \\ 0,4360 \\ 0,3390 \\ 0,0000 \\ 0,0000 \\ 0,2490 \end{bmatrix}$$

$$W_{ANP} = \begin{bmatrix} 0,5361 \\ 0,5343 \\ 0,2329 \\ 0,1856 \\ 0,0185 \\ 0,0142 \end{bmatrix}$$

$W_{ANP}$  matrisi şeklinde elde ettiğimiz sonuç matrisi, AAS modelinde karar konusu olan alternatifler kümesindeki hata tiplerinin risk değerlerine karşılık gelmektedir. 6 hata türü için risk önceliklendirme işlemi böylece tamamlanmış olur.

### 3.3.2. Bulanık AAS-HTEA uygulama sonuçları ve yorumlanması

‘Chang’ın Derece Analizi Metodu’ ile yapılan bulanık AAS çalışması sonucunda 6 hata tipi için risk değerleri şu şekilde oluşmuştur.

Tablo 3.18. Bulanık AAS ile Elde Edilen Sonuç

Hata Türleri	Bulanık AAS Değeri
Tip1	0,5361
Tip2	0,5343
Tip3	0,2329
Tip4	0,1856
Tip5	0,0185
Tip6	0,0142

Yapılan değerlendirme sonucu en riskli hata tipi, Tip 1: Alışım Hatası olarak belirlenmiştir. Yapılan bulanık AAS-HTEA çalışması sonucu belirlenen olası hata türlerinin risk öncelik sıralaması Tip 1 > Tip 2 > Tip 3 > Tip 4 > Tip 5 > Tip 6 şeklindedir.

### 3.4. Karşılaştırma

Tablo 3.19. Karşılaştırmalı Sonuç

	Klasik HTEA		AAS HTEA		Bulanık AAS HTEA	
	RÖS Değeri	HTEA %	Limit Değer	AAS %	Bulanık değer	Bulanık AAS %
Tip1	96	0,104575	0,0783	0,18222	0,5361	0,352326
Tip2	288	0,313725	0,1503	0,349686	0,5343	0,351144
Tip3	126	0,137255	0,0933	0,217152	0,2329	0,153063
Tip4	210	0,228758	0,0429	0,099767	0,1856	0,121977
Tip5	144	0,156863	0,0281	0,065464	0,0185	0,012158
Tip6	54	0,058824	0,0368	0,085595	0,0142	0,009332
	918		0,4297		1,5216	

#### 3.4.1. Geleneksel HTEA

Bu çalışmada uygulanan 3 risk belirleme metodundan ilki olan geleneksel HTEA’da belirlenen olası hata türlerinin risk sıralaması Tip 2 > Tip 4 > Tip 5 > Tip 3 > Tip 1 > Tip 6 şeklindedir.

En riskli hata türü %31 risk değeri ile 2.tip hata olan ölçü/kalıp hatası olarak belirlenmiştir. Bu metoda göre yapılan değerlendirme, önceki bölümlerde açıklandığı gibi hata tiplerinin ve sebeplerinin arasındaki ilişki yapısını ihmal ederek risk değeri tespit edildiğinden bulunan sonuçlar diğer metodlarla kıyaslandığında yüzde ve sıralama olarak farklılık göstermektedir.

Örneğin;

- En riskli hata türü sıralamasında %23 risk oranı ile ikinci sırada bulunan 4.tip hata yanlış boy kesimdir ve diğer hata tiplerini tetikleme gibi bir özelliği yoktur. Ancak geleneksel HTEA değerlendirmesi kriterlerinde sürecin ilk aşamasında bulunan ve

diğer hataların oluşumuna da sebep olabilecek 1.tip alışım hatasından daha riskli bulunmuştur.

- Aynı şekilde 3.tip yüzey pürüzlülüğü hatası, 1.tip alışım hatasından etkilenebilecek durumdadır ve süreç sırasında daha sonra olmasına rağmen 1. tip hatadan daha riskli bulunmuştur.

Geleneksel HTEA tekniğinin uygulandığı durumda; hata önleyici kalite metotlarına ayrılabilir bütçe, zaman, işgücü vs. bu sonuçlara göre belirlenecektir. Bu çerçevede kaynağın risk yüzdesine göre dağıtılacağı varsayımıyla; en büyük kaynak 2.tip ölçü hatalarını gidermek için ve ikinci olarak da 4.tip yanlış boy kesim hatalarını önlemek için kullanılır. Daha sonra 5.tip boya hataları ve 3.tip yüzey pürüzlülüğü problemleri ile ilgili önleyici faaliyetler üzerinde çalışılacaktır. Risk önceliği düşük bulunan 1.tip alışım hatası ise beşinci sırada ele alınacaktır. Oysa alışım hatası oluşumu; tip3, tip5 ve tip6 hatalarını da etkileyebilmekte ve bu hatalar için yapılan çalışmalarda alışım hatası süreçten ayıklanmadığı sürece etkin sonuç alınamamaktadır.

### 3.4.2. AAS-HTEA

Analitik Ağ Süreci ile HTEA’da hata türlerinin risk sıralaması Tip 2 > Tip 3 > Tip 1 > Tip 4 > Tip 6 > Tip 5 şeklindedir.

En riskli hata türü %35 risk değeri ile geleneksel HTEA’da olduğu gibi 2.tip hata olan ölçü/kalıp hatası olarak belirlenmiştir. Risk değerlerindeki küçük fark dışında bu kısım ilk metotla tutarlıdır. Ancak birinci yöntemde ihmal edildiği belirtilen ağ yapısının, bazı hata türlerini diğerlerinin öncülü olarak nitelenmesi ve daha riskli olarak değerlendirmesi sonucu ikinci yöntemde risk sıralaması değişmiştir.

Örneğin;

- %22 risk oranı ile yüzey pürüzlülüğü ikinci derece riskli hata olarak değerlendirilmiştir. Birinci yöntemde risk sıralamasında dördüncü olan bu hata

türünün, ağ yapısı sayesinde 5.tip boya mikron hatasına sebep olabileceği tespit edilmiş ve risk değeri artmıştır.

- %18 risk oranı ile üçüncü sırada olan alaşım hatası ilk yöntemde de açıklandığı gibi diğer hatalar üzerinde de pay sahibidir. Bu hatanın riski ilk yöntemde göre %8 artmış ve önceliği beşinci sıradan üçüncü sıraya yükselmiştir.
- İlk metotla farklı olan bir diğer husus 4.tip ve 5.tip hataların risk değerlerinin azalmasıdır. Reel olarak bir risk azalması olmamakla birlikte sıralamadaki bu değişikliğin sebebi; süreç yapısı tanımlandığı ve ilişkiler kurulduğu için bu hataların süreç sonuna yakın ve bireysel olduğunun ortaya çıkmasıdır.

Yukarıda belirlenen farklılıklar hata tespit yöntemlerinin, olasılığının veya şiddet değerlerinin değişmesi ile ilgili değildir. Her iki yöntemde yapılan değerlendirmeler ve verilen puanlar tutarlıdır. AAS-HTEA'nın bu özellikleriyle geleneksel HTEA modelini destekleyen ancak kriterler arasındaki ilişki ağını daha detaylı biçimde modelleyebilen gelişmiş bir metot olduğu söylenebilir.

### **3.4.3. Bulanık AAS-HTEA**

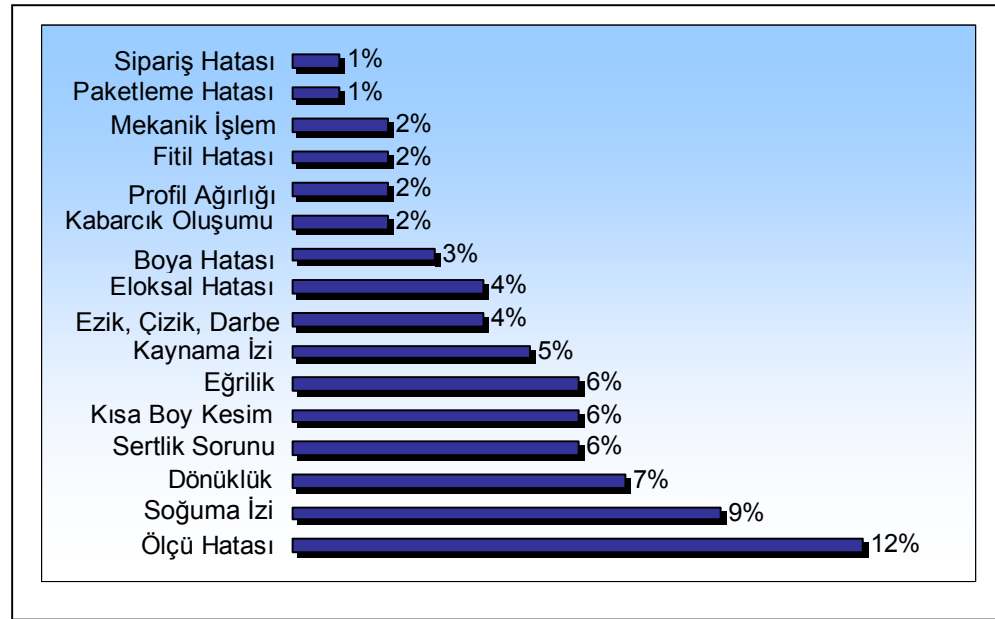
Üçüncü ve son metotta bulunan sonuçlara göre risk öncelik sıralaması Tip 1 > Tip 2 > Tip 3 > Tip 4 > Tip 5 > Tip 6 şeklindedir. Bu değerler geleneksel HTEA'dan oldukça farklı, AAS-HTEA ile kısmen benzerdir. Bu yöntemde alaşım hatası %35 risk oranı ile en riskli hata olarak tespit edilmiştir. Bu durum ilk iki metotta açıklanan alaşım hatasının sürecin ilk adımında olması ve diğer hata türlerinin (tip3, tip5, tip6) oluşumuna katkı sağlaması nedeniyle daha riskli olduğunun bulanık AAS yönteminde HTEA uygulamasına dahil edilebildiğini göstermektedir.

### **3.4.4. Sonuçların 2007 yılı hata istatistikleri ile kıyaslanması**

HTEA'nın farklı uygulamaları sonucunda elde edilen riskler; söz konusu tesiste 2007 yılında yapılan hata istatistik grafiği ile karşılaştırıldığında mevcut duruma en yakın

değerlerin bulanık AAS yöntemi ile elde edildiği görülmektedir. Şekil 3.6.'da verilen 2007 yılı değerlerinde ve Şekil 3.5.'te verilen ilişkiler doğrultusunda;

- Tip 1 alarım hatası ve sebep olabileceği diğer hatalar tip3 (yüzey pürüzlülüğü) , tip5 (boya mikron hatası) ve tip 6 (profil birim ağırlığı)'nın toplamı; %6(sertlik sorunu) + %9(soğuma izi) + %2(kabarcık) + %3(boya hatası) + %2(profil ağırlığı) = %22'dir.



Şekil 3.5. 2007 Hata İstatistiği (1 ton üzeri müşteri şikayetlerinin hata tiplerine göre)

- Bu değerlendirmede dikkate alınması gereken husus; Tip 1'in %6'lık hata payı için direkt, kalan %16'lık hata payı için dolaylı etkisi olduğudur. Yani bu hata türü için yapılan bir iyileştirme; hataların %22'lik kısmının tamamen ortadan kalkmasında yeterli olmayacaktır. %22'lik hata diliminin bir kısmının ortadan kalkmasına sebep olacak, bir kısmında ise dolaylı olarak hata etkisinin veya olasılığının azalması gibi etkileri görülecektir. Diğer hatalarla etkileşimi olan Tip 2 ve Tip 3 için de aynı durum söz konusudur.
- Tip 2 ölçü hatası ve sebep olabileceği tip 6 (profil birim ağırlığı)'nın toplamı; %12(ölçü hatası) + %7(dönüklük) + %2(profil ağırlığı) = %21'dir.
- Tip 3 yüzey pürüzlülüğü ve sebep olabileceği tip5 (boya mikron hatası)'nın toplamı; %9(soğuma izi) + %2(kabarcık) + %3(boya hatası) = %14'tür.

- Tip 4 yanlış boy kesim, tip 5 boya mikron hatası ve tip 6 profil ağırlığı ise başka hataların oluşumuna sebep olmayan hatalardır ve 2007 yılı toplam hataları içindeki yüzdeleri şöyledir:
- Tip 4: %6
- Tip 5: %3
- Tip 6: %2

Dolayısıyla 2007 yılında gerçekleşen 1 tonun üzerindeki profil şikayet ve iadelerinin hata türlerine göre sıralaması Tip 1 > Tip 2 > Tip 3 > Tip 4 > Tip 5 > Tip 6 şeklinde oluşur. Bu sıralama ve yüzde değerleri; bulanık AAS yönteminde elde edilen sonuçları doğrulamakta ve ağ yapısı ile belirsiz kavramların modellenmesine imkan tanıyan bulanık mantığın HTEA uygulamasının etkinliğine katkıda bulunduğunu göstermektedir.



## **BÖLÜM 4. SONUÇLAR**

Kalitenin özünde yer alan müşteri tatmininin en üst düzeye çıkarılması ve müşteri gereksinimlerinin eksiksiz karşılanması, müşteriye hatasız ürünlerin sunulmasıyla sağlanabilir. Müşterilere sunulacak üründe ortaya çıkabilecek hataların henüz gerçekleşmeden ve ürün müşteriye ulaşmadan belirlenmesi ve önlenmesini amaçlayan Hata Türü ve Etkileri Analizi, uygulandığı işletmelerde yüksek kalite standardı ve müşteri tatmini sağlamaktadır. HTEA kullanımının en önemli nedeni, sadece hatayı ortaya çıkarmakla yetinmemesi, hataların oluşumunu engelleyecek önlemlere de yer vermesidir. Böylece hatalar müşteriye ulaşmadan önce belirlenip giderilebilecek, dolayısıyla ortaya çıkacak olumsuzluklar da önlenmiş olacaktır.

HTEA tekniği pazarda firmaların yüksek güvenilirliğe sahip, kaliteli ürünleri düşük maliyet ile tasarlamasını ve üretmesini sağlamakta; kötüye giden operasyon maliyetlerini kontrol altına alarak hataların müşteriye yansımadan en erken biçimde önlenmesini sağlamaktadır. Bu teknik geliştirdiği dokümantasyon yapısıyla sürekli olarak güncellenebildiğinden sürekli bir kalite gelişimi ve müşteri memnuniyetini de beraberinde uygulayıcı firmalara kazandırmaktadır. Unutulmamalıdır ki ancak sonuna kadar getirilmiş bir HTEA başarıya ulaşabilir. Bunun için de üst yönetimin desteği ve çalışanların motive edilmesi gerekmektedir.

“Hata Türü ve Etkileri Analizi’nde Analitik Ağ Süreci ve Bulanık Mantık Uygulaması” adlı bu çalışmada, son yıllarda özellikle endüstriyel alanda yoğun olarak kullanılan hata önleyici tekniklerden biri olan Hata Türü ve Etkileri Analizi uygulamalarında farklı metotlarla etkinliğin artırılması olanakları araştırılmıştır.

Çalışmaya konu olan HTEA uygulaması bir çok firma ile rekabet etmek zorunda olan ve ürettiği ürünlerde yakalayacağı kalite ve üretim verimliliği ile rekabet gücünü artırmayı hedefleyen bir alüminyum ekstrüzyon tesisinde gerçekleştirilmiştir. Alüminyum üretiminde istenilen özellik; dayanıklılık, siparişe uygunluk ve dünya standartlarında bir üretim kalitesidir. Özellikle otomobil ve beyaz eşya üreticileri, bu alandaki tedarikçilerini sıkı denetimlerden geçirmekte ve istenilen kalitenin yakalanması için yaptıkları çalışmalarını kontrol etmektedirler. Yapılan çalışmada alüminyum profil imalatı incelenmiş ve örnek profil modeli için 6 hata türü bulunmuştur. Bu hata türlerinin etkileri, nedenleri ve bu hata türlerini müşteriye ulaşmadan tespit etmek için yapılan kontroller dikkate alınarak 6 risk öncelik sayısı hesaplanmıştır.

Bu çalışmada gerçekleştirilmeye çalışılan amaçlardan ilki, geleneksel HTEA'da yapılan analizlerde görülemeyen; ilgili hata türünün sebepleri, olasılıkları, etkileri, bulunabilirlik ve diğer hata türleri ile aynı anda ilişkilendirileceği bir model geliştirmektir. Bu kapsamda, HTEA'da risk faktörlerinin derecelendirilmesi karar problemi olarak düşünülmüş ve kriter sayısının fazlalığından dolayı Analitik Ağ Süreci yöntemi uygulanmıştır. AAS yönteminin tercih edilmesindeki sebepler; çok sayıda hata kriteri ve alternatifinin var olduğu, kriterlerin birbirlerinden bağımsız olmayıp birbirlerini etkiledikleri ve kriterler arasında karşılıklı etkileşimlerin bulunduğu bir yapı olmasıdır.

AAS modeli kapsamında belirlenen kriterler; geleneksel HTEA yapısında risk öncelik sayısını oluşturan çarpanlar; hata şekli, hata olasılığı, hata bulunabilirliği ve doğal olarak hata türleridir. Bu 4 ana kriter altında 13 adet alt kriter tespit edilmiştir. Belirlenen ölçütlerin iç ve dış bağımlılıkları belirlenerek şebeke yapısı oluşturulmuş ve süpermatris elde edilmiştir. Süpermatris oluşturulmasında kullanılan veriler, konunun uzmanı 3 kişinin ayrı ayrı yargıları alınıp birleştirilerek çözüm için ortak bir yargının oluşması ile sağlanmıştır. Veriler, super decisions programına aktarılarak gerekli matris işlemleri ile limit matrise ulaşılmıştır. Limit matriste alternatifler satırında en yüksek değere sahip hata türü en riskli hata olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda HTEA'da yeni bir model oluşturulmuş ve AAS ile çözümlenmiştir. Böylece ihtiyaç duyulan bütünleşik model yapısı kurulmuş ve bu ilişkiler ağının hataların ortaya çıkmasındaki etkisi göz önünde

bulundurularak konsolide bir risk değeri tespit edilmiştir. Geliştirilen yöntem, hata türlerinin etkilerinin aynı anda görülebilmesi ve hata önleme çalışmalarında istenen sonuçların elde edilebilmesi açısından kolaylık sağlayacaktır.

Çalışmanın bir diğer amacı; Bulanık Küme Kuramı ve Analitik Ağ Süreci uygulamalarını kapsayan ‘Chang’ın Derece Analizi Metodu’ ile yeni bir çözüm olanağı sunmaktır. Bulanık kümeler, gözlemlerin bulanıklık taşıdığı, yani kesin olmadığı durumlarda uygulanır. AAS ise kümeler ve küme elemanları arasındaki ilişkilerin bir ağ yapısı ile modellenmesine imkan tanır. Chang algoritmasının uygulanması diğer bulanık AAS yöntemlerine kıyasla daha kolaydır ve geleneksel AAS yönteminden elde edilen matris değerleri kullanılabildiği için işlem sayısı ve süresi azalır. Fakat bu çözüm yapısı ve sekiz adımlı matris işlemlerinden oluşan algoritma gereği Chang’ın Derece Analizi Metodunda bulanıklık diğer yöntemler kadar açık gözlenemez.

Chang algoritması uygulanırken matris işlemleri için MATLAB 7.0.1 programı kullanılmıştır. Hata kriterleri öncelikleri ve içsel bağımlılık gibi önemli karar unsurlarını matrislerle çözüme dahil eden bu yöntemde, karşılaştırma bölümünde açıklandığı gibi pratik sonuca daha yakın ve rasyonel risk değerlendirmesi yapılabilmesi mümkün olmuştur.

## **BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER**

Hata türü ve etkileri analizi için yapılan analitik ağ süreci ve bulanık analitik ağ süreci uygulamalarında, her iki tekniğin de; karar vericiye kolaylık sağlayan, risk önceliklendirmesinde karar elemanlarını rasyonel değerlendirebilen, belirsizliklerin iyi tahlil edilmesini ve sisteme entegrasyonunu sağlayan, gerçekçi sonuçların oluşumuna fırsat veren ve gelişime açık metotlar olduğu görülmüştür.

Bu ekseninde söz konusu metotların, hata türü ve etkileri analizi çalışmasının etkinliğini arttırması ve hata önleme uygulamalarının teoriden pratiğe geçişinde kolaylık sağlaması mümkündür.

Literatürde risk değerlendirme ve ilişkilendirme alanında bulanık mantık tekniklerini kullanan bazı çalışmalar olmakla birlikte, analitik ağ süreci tekniğini hata riski tespitinde kullanan ilk araştırma 2007 yılında yapılmıştır. Bu çalışma, literatürde analitik ağ süreci ve bulanık mantık uygulamalarını entegre biçimde hata türü ve etkileri analizinde uygulayan benzer çalışma olmaması yönüyle bir ilk niteliği taşımaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] ALMANNAI, B., GREENOUGH, R., KAY, J., A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation technologies, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24: 501-507, 2008
- [2] AMDEC (ANALYSE des MODES de DEFAILLANCE, de leurs EFFECTS, et de leur CRITICITE), Uygulama Seminer Notları, Oyak-Renault A.Ş., 1992
- [3] ARAGONÉS-BELTRÁN, P., AZNAR, J., FERRÍS-OÑATE, J., GARCÍA-MELÓN, M., Valuation of urban industrial land: An ANP approach, *European Journal of OR*, 185(1): 322-339, 2008
- [4] ARAN, G., Kalite İyileştirme Sürecinde HTEA ve Bir Uygulama , Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniv. SBE İşletme Anabilim Dalı, 2006
- [5] ASLAN, N., Analitik Network Prosesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005
- [6] AYAĞ, Z., ÖZDEMİR, R.G., An ANP-based approach to concept evaluation in a new product development environment, *Journal of Engineering Design*, 18(3) : 209-226, 2007
- [7] BEN-DAYA, M. and ABDUL, R., A Revised FMEA Model, *International Journal of Quality and Reliability Management*, p.43-47, 1996
- [8] <http://www.bilgiyonetimi.org/cm/pages/mklgos.php>, “FMEA Türleri”, 2008
- [9] BOLAT, T., Toplam Kalite Yönetimi (Konaklama İşletmelerinde Uygulanması), Beta Basım Dağıtım A.Ş., sf.74, İstanbul, 2000
- [10] BORAN, S., HŞEA'nın Bulanık Küme Yaklaşımıyla Çözümlemesi Olanğı, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü , 1996
- [11] CHANDAN. C., DEBJANİ, C., A fuzzy clustering methodology for linguistic opinions in group decision making, *Applied Soft Computing*, 7(3) : 858-869, 2007

- [12] CHANG, D.Y., Extent Analysis and Synthetic Decision, Optimization Techniques and Applications, *World Scientific*, 1:352, 1992
- [13] CHANG, D.Y., Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, *European Journal of Operational Research*, 95:649-655, 1996
- [14] CHANG, R.I., Total Quality Management Goes Nowhere, *Training and Development*, 23-29, Jan.1993
- [15] CHEN, J.K., LEE, Y.C., Risk Priority Evaluated by ANP in FMEA, *Quality Tools and Techniques*, 12(4), 2007
- [16] CHEN, P., KO,P., Portfolio value-at-risk forecasting with GA-based extreme value theory, *Expert Systems with Applications*, In Press, Corrected Proof, Available online 04.03.2008
- [17] CHUNG, S.Y., LEE, A.H.L., PEARN, W.L., Analytic network process(ANP) approach for product mix planning in semiconductor fabricator, *International Journal of Production Economics*, 96:15-36, 2005
- [18] COKER, A.O., SMITH, J.A., HIGGENS, S., CAMERON, D.C., Computer-based FMEA for QM, *Jour Quality Assurance*, 15(3): 89-94, 1989
- [19] ÇİTLİ, N., Bulanık Çok Kriterli Karar Verme, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006
- [20] DCC, FMC, GMC - Daimler Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, Potential FMEA Manual, 2001
- [21] DAĞDEVİREN, M., Çalışanların Toplam İş Yükü Seviyelerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Model ve Uygulaması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* , 20(4) : 515-522, 2005
- [22] DAĞDEVİREN, M., DÖNMEZ, N., KURT, M., Bir işletmede tedarikçi değerlendirme süreci için yeni bir model tasarımı ve uygulaması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* , 21(2) : 247-255, 2006
- [23] DAĞDEVİREN, M., YÜKSEL, İ., KURT, M., A fuzzy ANP model to identify FBR in work system, *Safety Science*, In Press, 2007
- [24] DEMİRTAŞ, E.A., ÜSTÜN, Ö., Tedarikçi Seçimi ve Sipariş Tahsisinde ASS ve Hedef Programlama Yaklaşımı, Yöneylem Araştırması, Endüstri Mühendisliği- XXIV Ulusal Kongresi, Gaziantep-Adana, 21-26, 2004
- [25] DEMİRTAŞ, E.A., ÜSTÜN, Ö., An int-multiobjective decision making process for supplier selection and order allocation, *Omega*, 36: 76-90, 2008

- [26] DÜZGÜNER, E., Ürün Geliştirme Sürecinde Önleyici Kalite Güvence: FMEA Metodu ve Bu Metodun Bir Sanayi İşletmesindeki Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Ün. Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2002
- [27] EROL, I., FERRELL, W.G., A methodology for selection problems with multiple, conflicting objectives and both qualitative and quantitative criteria, *International Journal of Production Economics*, 86(3): 187-199, 2003
- [28] ENGİN, O., KAYA, İ., Trafik Kazalarının Önlenmesinde Hata Modu ve Etkileri Analizi Modeli, *Polis Bilimleri Dergisi*, 6 : 1-2, 2004
- [29] ERYÜREK, Ö.F., TANYA, M., HTEA Yönteminde Maliyet Odaklı Yeni Bir Karar Verme Yaklaşımı, *İTÜ Mühendislik Dergisi*, 2(6): 31-40, 2003
- [30] <http://www.fmeca.com> , “History of FMEA, Prioritizing Risk for Better Decision-Making”, 2007
- [31] GARCIA, P.A., SCHIRRU, R., FRUTUOSO, P.F., A fuzzy data envelopment analysis approach for FMEA, *Progress in Nuclear Energy*, 46(3-4): 359-73, 2005
- [32] GENCER, C., GÜRPINAR, D., ANI in supplier selection: A case study in an electronic firm, *Applied Mathematical Modelling*, 31: 2475-2486, 2007
- [33] GOLEC, A., KAHYA, E., A fuzzy model for competency-based employee evaluation and selection, *Computers&Industrial Eng*, 52 : 143-161, 2007
- [34] GÜL, B., Kalite Yönetiminde Hata Türü ve Etkileri Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001
- [35] GÜNAY, H., Bulanık Karar Vermede Birleştirme Operatörleri ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü, 2006
- [36] HWANG, C., MASUD, A.S.M., Multiple Objective Decision Making Methods and Applications, *Springer-Verlag*, Berlin, 113-125, 1979
- [37] <http://www.index.gen.tr> , “Bulanık Mantık”, 2007
- [38] KAHRAMAN, C., ERTAY, T., BÜYÜKÖZKAN, G., A fuzzy optimization model for QFD planning process using ANI approach, *European Journal of Operational Research*, 171(2) : 390-411, 2006
- [39] KANDEL, A., Fuzzy Mathematical Techniques with Applications, Addison-Wesley Publishing Company, California, USA, 1983

- [40] KARA-ZAİTRİ, C., KELLER, A.Z., BARODY, I., FLEMING, P.V., An Improved FMEA Methodology, *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, Orlando, Publ. By IEEE* , 248-252 , 1991
- [41] KARA-ZAİTRİ, C., KELLER,, FLEMING, P.V., A Smart Failure Mode and Effect Analysis Package, *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, Publ. By IEEE* , 414-421, 1992
- [42] KARA-ZAİTRİ, C., FLEMING, P.V., Applications of Fuzzy Inference Methods to Failure Modes Effects and Criticality Analysis, *International Conference on Safety and Reliability, Publ. By IEEE* , 2403-2414, 1997
- [43] KASA, H., BORAN, S., FMEA ve Toplam Kalite Yönetimi İçin Önemi, *YA/EM93 Yöneylem Araştırması Endüstri Mühendisliği 15. Ulusal Kongresi "Küreselleşme ve Türk Endüstrisi" Bildiriler Kitabı*, 87, 1993
- [44] KEÇECİ, U., Tedarikçi Seçim Probleminde Analitik Ağ Süreci, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006
- [45] KLIR, G.J., FOLGER, T.A., Fuzzy Sets, Uncertainty and Information, Prentice Hall, USA, 1988
- [46] KOCAKALAY, Ş., ÖZDEMİR, M.S., IŞIK, A., Analitik Serim Süreci Tekniği ile Pazar Payı Tahmini, 41-46, 2004
- [47] KOGEM (Koç Holding A.Ş. Eğitim ve Gel. Mer.), Proses HTEA, 1995
- [48] KÖNE, A.Ç., BÜKE, T., An ANP evaluation of alternative fuels for electricity generation in Turkey, *Energy Policy*, 35: 5220-5228, 2007
- [49] KULAÇ, A., Eskişehir Tepebaşı Belediyesi İçin Katı Atık Yönetim Sistemi Seçiminde ANP Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006
- [50] KUMAR, R., KUMAR, D., KUMAR, P., Predicting uncertain behavior of industrial system using FMEA practical case, *Applied Soft Computing*, 8(1): 96-109, 2008
- [51] KURUÜZÜM, A., ATSAN, N., Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları, *Akdeniz Üniv. İİBF Dergisi*, 1:83-105, 2001
- [52] KUTDEMİR,S., Tasarım ve Proses FMEA Eğitim Notları, 2004
- [53] LEE, J.W., KIM, S.H., An integrated approach for independent information system project selection, *International Journal of Project Management*, 19(2): 111-118, 2001
- [54] LEE, J.W., KIM, S.H., Using analytic network process and goal programming for independent information system project selection, *Computers&Operations Research*, 27(4): 367-382, 2001



- [55] McDERMOTT, R.E., MIKULAK, R.J., BEAUREGARD, M.R., The Basics of FMEA , USA: productivity, 1996
- [56] MEADE, L.M., SARKIS, J., Strategic analysis of logistics and supply chain management systems using the ANP, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 34(3): 201-215, 1998
- [57] MEADE, L.M., SARKIS, J., Analyzing organizational project alternatives for agile manufacturing processes: an analytical network approach, *International Journal of Production Research*, 37(2): 241-261, 1999
- [58] MEADE, L.M., PRESLEY, A., R&D project selection using the ANP, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 49(1): 59-66, 2002
- [59] MIL-STD 1629A, Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, Department of Defence, USA, 1984
- [60] MIKHAILOV, L., SINGH, M., Fuzzy analytic network process and its application to the development of decision support systems, *IEEE Transactions on Systems, Man. And Cybernetics*, 33(1) : 33-41, 2003
- [61] MOHANTY, R.P., AGARWAL, R., CHOUDHURY, A.K., A fuzzy ANP-based approach to R&D Project selection: a case study, *International Journal of Production Research*, 43(24) : 5199-5216, 2005
- [62] MUSUBEYLİ, N., Ürünün Önemli Kalite Karakteristiklerinin Belirlenmesinde Tasarım HTEA ile Kalite Evinin Birlikte Kullanılması, Doktora Tezi, Osmangazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999
- [63] MUSUBEYLİ ERGİNEL, N, Tasarım HTEA'nın Etkinliği İçin Bir Model ve Uygulaması , *Endüstri Mühendisliği* , 15 (3):17-26, 2004
- [64] OKUL, D., Analitik Ağ Süreci ve Bulanık Mantık Kullanımıyla Kalite Fonksiyon Yayılımının Mobilya Sektörüne Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007
- [65] PAMUKÇU, B., Analitik Ağ Süreci ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004, 27-35
- [66] PEDRYEZ, W., GOMIDE, F., An introduction to Fuzzy Sets, Analysis and Design, MIT Press Cambridge, Massachusetts, 1998
- [67] PILLAY, A., WANG, J., Modified FMEA Using Approximate Reasoning, *Reliability Engineering and System Safety*, 79(1): 69-85, 2003
- [68] PINNA, T., CAPORALI, R., CAMBI, G., BURGAZZI, L., POU CET, A., PORFIRI, M.T., FMEA on ITER Heattransfer Systems, *Fusion Engineering and Design*, 42(1) : 431-436, 1998

- [69] PRASAD, S., Improving Manufacturing reliability in IC package assembly using FMEA technique, *9th IEEE/CHMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium, Publ. By IEEE* , 356-360, 1990
- [70] PRICE, C.J., SNOOKE, D.R., HUNT, J.E., WILSON, M.S., Combining Functional and Structural Reasoning for Safety Analysis of Electrical Designs, *The Knowledge Engineering Review*, 12(3) : 271-287, 1997
- [71] PRICE, C.J., Function-Directed Electrical Design Analysis, *Artificial Intelligence in Engineering*, 445-456, 1998
- [72] PRICE, C.J., TAYLOR, N.S., Automated Multiple Failure FMEA, *Reliability Engineering and System Safety*, 76(1) : 1-10, 2001
- [73] ROSS, T. J., Fuzzy Logic With Engineering Applications (International Edition), McGraw Hill, New York, 1995
- [74] RUSSOMANNO, D.J., BONNELL, R.D., BOWLES, J.B., A Blackboard Model of an Expert System for FMEA, Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, 483-489 ,1992
- [75] SAATY, R.W., Validating The Analytic Hierarchy Process(AHP) and The Analytic Network Process(ANP), Canada August 6-11, 2004
- [76] SAATY, T.L., The AHP, McGraw-Hill, New York, 28-41, 1980
- [77] SAATY, T.L., VARGAS, L., Inconsistency and Rank Preservation in Multi-criteria Decision Making: The AHP, RWS Publications, 47-56, Pittsburgh, 1984
- [78] SAATY, T.L., Multi-criteria Decision Making: The Analytical Hierarchy Process, RWS Publications, 42-54, Pittsburgh, 1988
- [79] SAATY, T.L., Eigenvector and logarithmic least squares, *European Journal of Operations Research*, 48:156-159, 1990
- [80] SAATY, T.L., Fundamentals of decision making and priority theory with the AHP, *European Journal of Operations Research*, 48:156-159, 1994
- [81] SAATY, T.L., Decision Making With Dependence and Feedback – The ANP, 2<sup>nd</sup>. Edition, RWS Publications, 43-59, 80-91, Pittsburgh, 2001
- [82] [http://www.isahp2007.net/menus/about\\_ahp/japananp.pdf](http://www.isahp2007.net/menus/about_ahp/japananp.pdf), “Fundamentals of Analytic Network Process”, 2007
- [83] SARKIS, J., TALLURI, S., A Model for Strategic Supplier Selection, *The Journal of Supply Chain Management*, 38(1): 18-28, 2002
- [84] STAMATIS, D.H., Failure Mode and Effect Analysis- FMEA from Theory to Execution, ASQC Quality Pres, Wisconsin, 1995

- [85] <http://www.superdecisions.com> , 2008
- [86] TAŞKIN, F., Önleyici Bakım Politikası Altında Optimum Stok Miktarının Bulanık Mantık Yöntemiyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü, 2006
- [87] TOPÇU, Y.İ., Çok ölçütlü Sorun Çözümüne Yönelik Bir Bütünleşik Karar Destek Modeli, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000
- [88] WANG, Y., CHIN, K.S., POON, G., YANG, J., Risk evaluation in FMEA using fuzzy weighted geometric mean, *Expert Systems with Applications*, In Press, Corrected Proof, Available online 07.12.2007
- [89] WANG, Y., ELHAG, T., A fuzzy group decision making approach for bridge risk assessment, *Computers&Industrial Eng*, 53: 137-148, 2007
- [90] <http://www.wikipedia.com>, “ Bulanık Mantık”, 2008
- [91] WINTERFELDT , V.D., Structuring Decision Problems for Decision-Analysis, *Acta Psychologica*, 45(1-3): 71-93, 1980
- [92] YILMAZ, A., Hata Türü ve Etki Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1997
- [93] YILMAZ, B.S., Hata Türü ve Etki Analizi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2(4), 2000
- [94] YILMAZ, M., Amaç Fonksiyonu Kısıtlı Ulaştırma Problemlerinde Tamsayılı Bulanık Optimizasyon, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003
- [95] YÜKSEL, İ., DAĞDEVİREN, M., Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis – A case study for a textile firm, *Information Sciences*, 177(16): 3364-3382, 2007
- [96] ZADEH, L.A., Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility, *Journal Int. J.Fuzzy Set and Systems*, 1 : 3-28, 1978
- [97] ZADEH, L.A., Outline of a new approach to the analysis of complex systems and design process, *John Wiley&Sons*, 16, 1987
- [98] ZILBERBERG, E., Knowledge Base Approach to integrated FMEA / ASQ's 52nd Annual Quality Congress Proceedings, 535-545, 1997

## EKLER

### EK-A. Anket

Aşağıdaki sorular 6179 nolu profilin Hata Türü ve Etkileri Analizi çalışması için hazırlanmıştır. Bu çalışmanın sağlıklı sonuçlar verebilmesi için soruların dikkatli ve titiz bir şekilde yanıtlanması gerekmektedir. Sorular ikili karşılaştırmalar şeklinde hazırlanmış olup, herhangi iki küme kriterinin başka bir kritere göre etki değerlerinin aşağıda verilen puan tablosuna göre değerlendirilmesi istenmektedir. Bu ankete katıldığınız için teşekkür ederiz.

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit derecede önemli	İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunuyor.
3	Orta derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine orta derecede tercih ettiriyor.
5	Kuvvetli derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine kuvvetli derecede tercih ettiriyor.
7	Çok kuvvetli derecede önemli	Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih ediliyor ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülüyor.
9	Aşırı derecede önemli	Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahip.
2,4,6,8	Ortalama değer	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasında düşen puanlamalar.

1) Aşağıdaki kriterlerin “görsel” hata şiddetine etkilerini ikili olarak karşılaştırınız.

Kontrol Metodu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kontrol Sıklığı
Görülme Oranı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Şikayet Oranı
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 2
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 3
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 5

Örnek

Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 6
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 3
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 5
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 6
Tip 3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4

2) Aşağıdaki kriterlerin “işlevsel” hata şiddetine etkilerini ikili olarak karşılaştırınız.

Kontrol Metodu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kontrol Sıklığı
Görülme Oranı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Şikayet Oranı
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 2
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 3
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 5
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 6
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 3
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 5
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 6
Tip 3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4

3) Aşağıdaki kriterlerin “kimyasal” hata şiddetine etkilerini ikili olarak karşılaştırınız.

Kontrol Metodu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kontrol Sıklığı
Görülme Oranı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Şikayet Oranı
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 2
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 3
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 5
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 6
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 3
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 5
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 6
Tip 3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4

4) Aşağıdaki kriterlerin hata olasılığı “görülme oranı” kriterine etkilerini ikili olarak karşılaştırmız.

Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 2
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 3
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 5
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 6
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 3
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 5
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 6
Tip 3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4

5) Aşağıdaki kriterlerin hata olasılığı “şikayet oranı” kriterine etkilerini ikili olarak karşılaştırmız.

Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 2
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 3
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 5
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 6
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 3
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 5
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 6
Tip 3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4

6) Aşağıdaki kriterlerin hata bulanabilirliği “kontrol sıklığı” kriterine etkilerini ikili olarak karşılaştırmız.

Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 2
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 3
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 5
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 6

Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 3
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 5
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 6
Tip 3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4
Görülme Oranı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Şikayet Oranı

7) Aşağıdaki kriterlerin hata bulanabilirliği “kontrol metodu” kriterine etkilerini ikili olarak karşılaştırmız.

Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 2
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 3
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 5
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 3
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 5
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 6
Tip 3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 4
Görülme Oranı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Şikayet Oranı

8) Aşağıdaki kriterlerin “Tip 1” hata türüne etkilerini ikili olarak karşılaştırmız.

Kontrol Metodu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kontrol Sıklığı
Görülme Oranı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Şikayet Oranı
Görsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	İşlevsel
Görsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kimyasal
İşlevsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kimyasal

9) Aşağıdaki kriterlerin “Tip 2” hata türüne etkilerini ikili olarak karşılaştırmız.

Kontrol Metodu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kontrol Sıklığı
Görülme Oranı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Şikayet Oranı
Görsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	İşlevsel
Görsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kimyasal
İşlevsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kimyasal

10) Aşağıdaki kriterlerin “Tip 3” hata türüne etkilerini ikili olarak karşılaştırınız.

Kontrol Metodu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kontrol Sıklığı
Görülme Oranı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Şikayet Oranı
Görsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	İşlevsel
Görsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kimyasal
İşlevsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kimyasal
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 3

11) Aşağıdaki kriterlerin “Tip 4” hata türüne etkilerini ikili olarak karşılaştırınız.

Kontrol Metodu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kontrol Sıklığı
Görülme Oranı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Şikayet Oranı
Görsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	İşlevsel
Görsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kimyasal
İşlevsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kimyasal

12) Aşağıdaki kriterlerin “Tip 5” hata türüne etkilerini ikili olarak karşılaştırınız.

Kontrol Metodu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kontrol Sıklığı
Görülme Oranı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Şikayet Oranı
Görsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	İşlevsel
Görsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kimyasal
İşlevsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kimyasal
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 3
Tip 3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 5

13) Aşağıdaki kriterlerin “Tip 6” hata türüne etkilerini ikili olarak karşılaştırınız.

Kontrol Metodu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kontrol Sıklığı
Görülme Oranı	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Şikayet Oranı
Görsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	İşlevsel
Görsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kimyasal
İşlevsel	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kimyasal
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 2
Tip 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 6
Tip 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tip 6



**EK-B. Anket Yanıtları**

İkili olarak karşılaştırılan ölçütler		I. Yanıtlar	II. Yanıtlar	III. Yanıtlar	Ortalama (Yuvarlanmış)
Kontrol Metodu	Kontrol Sıklığı	1	1	1	1
Görülme Oranı	Şikayet Oranı	5	5	4	5
Tip 1	Tip 2	3	2	2	2
Tip 1	Tip 3	4	4	4	4
Tip 1	Tip 4	2	2	2	2
Tip 1	Tip 5	2	1	2	2
Tip 1	Tip 6	7	6	6	6
Tip 2	Tip 3	5	5	5	5
Tip 2	Tip 4	1	2	1	1
Tip 2	Tip 5	3	3	4	3
Tip 2	Tip 6	7	7	7	7
Tip 3	Tip 4	5	5	5	5
Kontrol Metodu	Kontrol Sıklığı	2	2	2	2
Görülme Oranı	Şikayet Oranı	3	4	3	3
Tip 1	Tip 2	2	3	3	3
Tip 1	Tip 3	2	2	2	2
Tip 1	Tip 4	3	3	4	3
Tip 1	Tip 5	3	3	4	3
Tip 1	Tip 6	3	3	4	3
Tip 2	Tip 3	3	3	3	3
Tip 2	Tip 4	5	4	5	5
Tip 2	Tip 5	2	3	3	3
Tip 2	Tip 6	3	2	4	3
Tip 3	Tip 4	2	1	2	2
Kontrol Metodu	Kontrol Sıklığı	3	3	3	3
Görülme Oranı	Şikayet Oranı	4	3	3	3
Tip 1	Tip 2	5	5	5	5
Tip 1	Tip 3	3	3	3	3
Tip 1	Tip 4	5	5	5	5
Tip 1	Tip 5	3	3	3	3

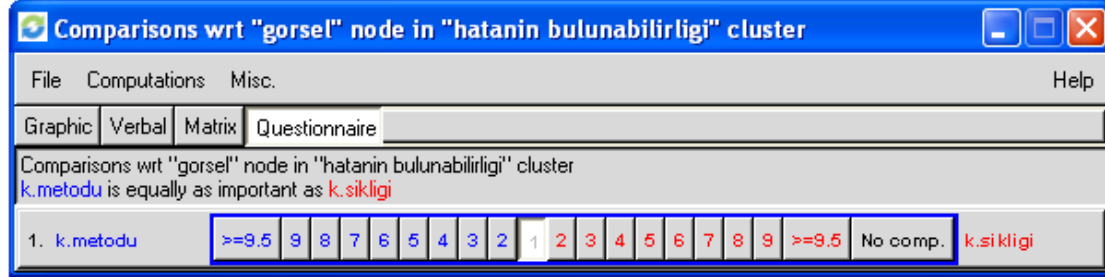
Tip 1	Tip 6	2	2	2	2
Tip 2	Tip 3	3	3	3	3
Tip 2	Tip 4	1	1	1	1
Tip 2	Tip 5	3	3	3	3
Tip 2	Tip 6	3	4	4	4
Tip 3	Tip 4	3	3	3	3
Tip 1	Tip 2	5	6	4	5
Tip 1	Tip 3	3	3	3	3
Tip 1	Tip 4	2	3	3	3
Tip 1	Tip 5	2	2	1	2
Tip 1	Tip 6	3	3	3	3
Tip 2	Tip 3	3	3	3	3
Tip 2	Tip 4	5	4	5	5
Tip 2	Tip 5	3	3	3	3
Tip 2	Tip 6	3	4	4	4
Tip 3	Tip 4	3	3	3	3
Tip 1	Tip 2	5	5	5	5
Tip 1	Tip 3	5	5	5	5
Tip 1	Tip 4	1	1	1	1
Tip 1	Tip 5	3	3	3	3
Tip 1	Tip 6	5	4	5	5
Tip 2	Tip 3	5	5	5	5
Tip 2	Tip 4	7	6	8	7
Tip 2	Tip 5	5	5	5	5
Tip 2	Tip 6	5	5	5	5
Tip 3	Tip 4	2	3	3	3
Tip 1	Tip 2	5	5	5	5
Tip 1	Tip 3	3	3	3	3
Tip 1	Tip 4	4	3	3	3
Tip 1	Tip 5	2	2	2	2
Tip 1	Tip 6	3	3	4	3
Tip 2	Tip 3	7	7	8	7
Tip 2	Tip 4	7	7	8	7
Tip 2	Tip 5	5	5	5	5
Tip 2	Tip 6	3	3	3	3

Tip 3	Tip 4	5	6	5	5
Görülme Oranı	Şikayet Oranı	5	5	5	5
Tip 1	Tip 2	4	4	4	4
Tip 1	Tip 3	2	3	3	3
Tip 1	Tip 4	5	5	5	5
Tip 1	Tip 5	3	3	4	3
Tip 1	Tip 6	5	5	5	5
Tip 2	Tip 3	5	6	5	5
Tip 2	Tip 4	3	3	3	3
Tip 2	Tip 5	5	4	4	4
Tip 2	Tip 6	1	2	1	1
Tip 3	Tip 4	7	6	8	7
Görülme Oranı	Şikayet Oranı	3	3	3	3
Kontrol Metodu	Kontrol Sıklığı	8	7	7	7
Görülme Oranı	Şikayet Oranı	2	2	2	2
Görsel	İşlevsel	3	4	3	3
Görsel	Kimyasal	7	7	7	7
İşlevsel	Kimyasal	5	5	5	5
Kontrol Metodu	Kontrol Sıklığı	3	3	2	3
Görülme Oranı	Şikayet Oranı	3	3	3	3
Görsel	İşlevsel	5	6	5	5
Görsel	Kimyasal	4	3	3	3
İşlevsel	Kimyasal	7	7	7	7
Kontrol Metodu	Kontrol Sıklığı	4	4	4	4
Görülme Oranı	Şikayet Oranı	3	3	3	3
Görsel	İşlevsel	3	3	3	3
Görsel	Kimyasal	5	5	5	5
İşlevsel	Kimyasal	2	1	2	2
Tip 1	Tip 3	2	2	2	2
Kontrol Metodu	Kontrol Sıklığı	5	5	5	5
Görülme Oranı	Şikayet Oranı	2	2	1	2

Görsel	İşlevsel	3	3	3	3
Görsel	Kimyasal	2	2	2	2
İşlevsel	Kimyasal	5	6	5	5
Kontrol Metodu	Kontrol Sıklığı	5	5	5	5
Görülme Oranı	Şikayet Oranı	4	3	3	3
Görsel	İşlevsel	7	7	8	7
Görsel	Kimyasal	7	7	7	7
İşlevsel	Kimyasal	1	2	1	1
Tip 1	Tip 3	3	3	3	3
Tip 1	Tip 5	2	2	2	2
Tip 3	Tip 5	4	5	6	5
Kontrol Metodu	Kontrol Sıklığı	4	5	4	4
Görülme Oranı	Şikayet Oranı	3	3	3	3
Görsel	İşlevsel	3	4	3	3
Görsel	Kimyasal	2	2	2	2
İşlevsel	Kimyasal	4	3	3	3
Tip 1	Tip 2	3	3	3	3
Tip 1	Tip 6	3	2	3	3
Tip 2	Tip 6	5	4	5	5

## EK-C : Karşılaştırmalı Matrisler İçin Superdecision Verileri

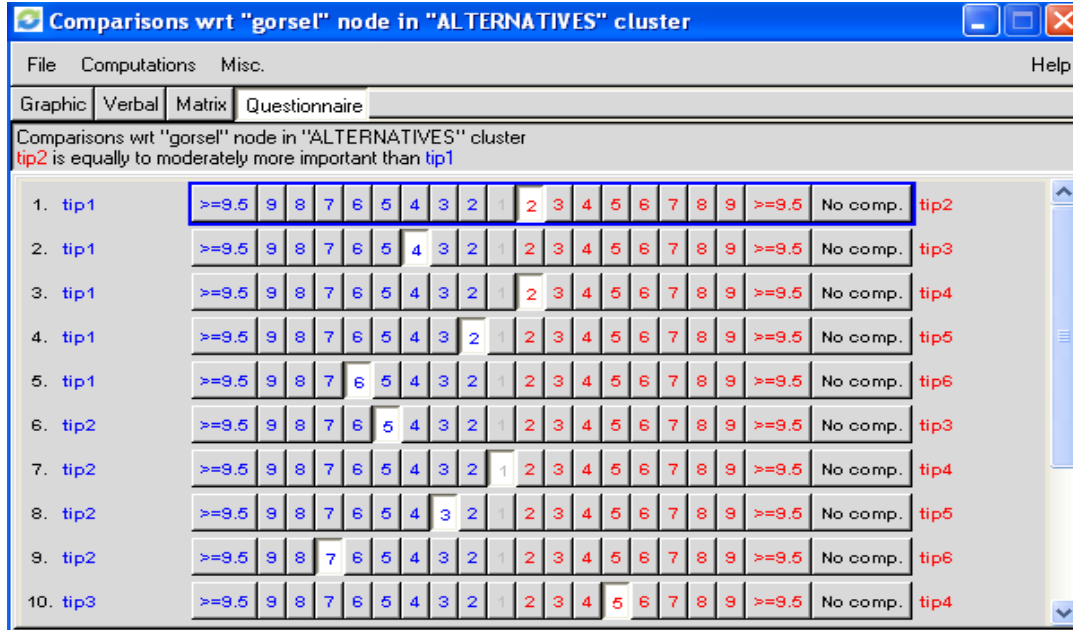
1) Hata şiddetinin “görsel” alt kriterine, diğer kriterlerin etkileri;



Şekil C.1.a. Hata bulunabilirliği kriterlerinin etkileri

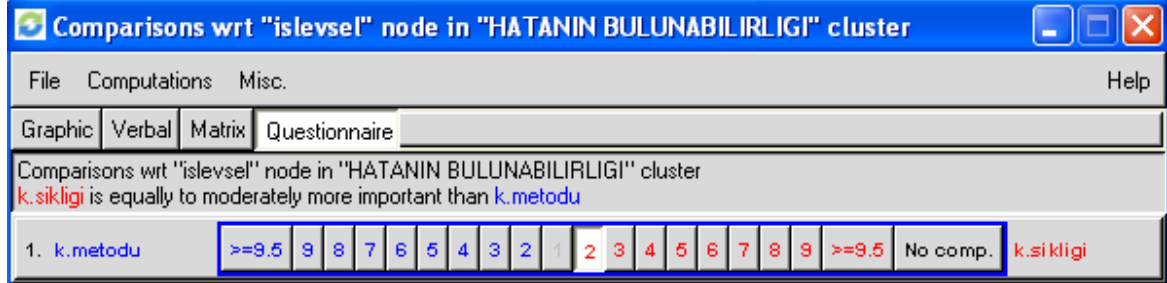


Şekil C.1.b. Hata olasılığı kriterlerinin etkileri



Şekil C.1.c. Hata türlerinin etkileri

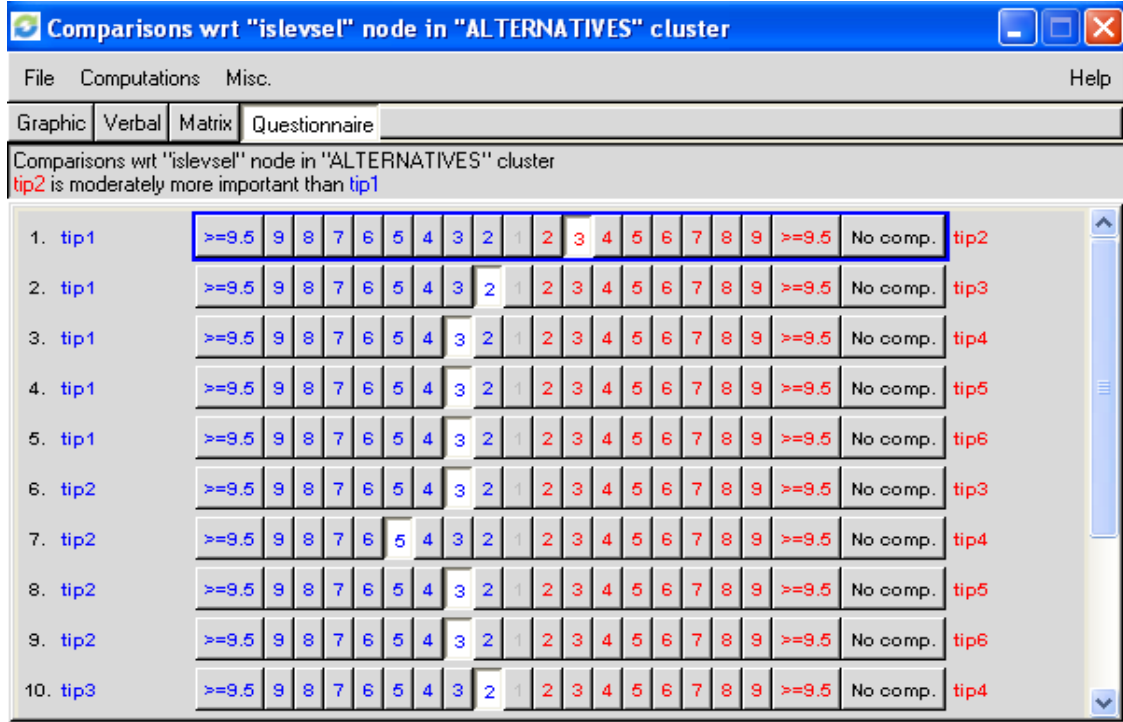
2) Hata şiddetinin “işlevsel” alt kriterine, diğer kriterlerin etkileri;



Şekil C.2.a. Hata bulunabilirliği kriterlerinin etkileri

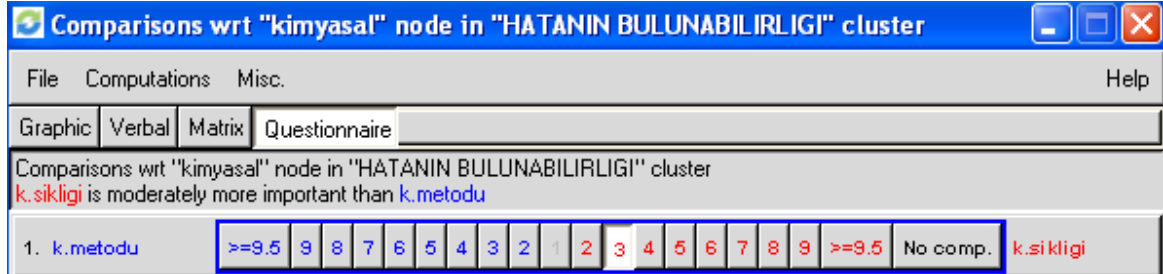


Şekil C.2.b. Hata olasılığı kriterlerinin etkileri



Şekil C.2.c. Hata türlerinin etkileri

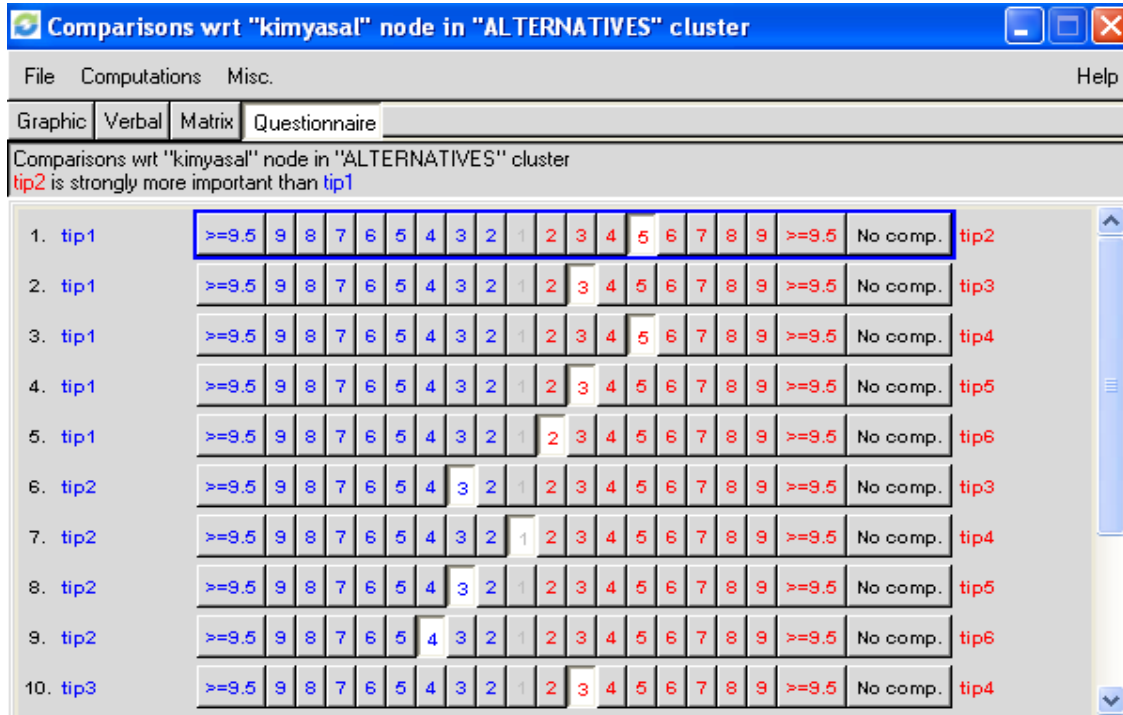
3) Hata şiddetinin “kimyasal” alt kriterine, diğer kriterlerin etkileri;



Şekil C.3.a. Hata bulunabilirliği kriterlerinin etkileri



Şekil C.3.b. Hata olasılığı kriterlerinin etkileri



Şekil C.3.c. Hata türlerinin etkileri

4) Hata olasılığının “görülme oranı” alt kriterine, diğer kriterlerin etkileri;

	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	>=9.5	No comp.									
1. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip2
2. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip3
3. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip4
4. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip5
5. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip6
6. tip2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip3
7. tip2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip4
8. tip2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip5
9. tip2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip6
10. tip3	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip4

Şekil C.4.a. Hata türlerinin etkileri

5) Hata olasılığının “şikayet oranı” alt kriterine, diğer kriterlerin etkileri;

	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	>=9.5	No comp.									
1. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip2
2. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip3
3. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip4
4. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip5
5. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip6
6. tip2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip3
7. tip2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip4
8. tip2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip5
9. tip2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip6
10. tip3	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip4

Şekil C.5.a. Hata türlerinin etkileri



6) Hata bulunabilirliğinin “kontrol sıklığı” alt kriterine, diğer kriterlerin etkileri;

Comparisons wrt "k.sikligi" node in "ALTERNATIVES" cluster  
tip1 is strongly more important than tip2

1. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip2
2. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip3
3. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip4
4. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip5
5. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip6
6. tip2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip3
7. tip2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip4
8. tip2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip5
9. tip2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip6
10. tip3	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip4

Şekil C.6.a. Hata türlerinin etkileri

7) Hata bulunabilirliğinin “kontrol sıklığı” alt kriterine, diğer kriterlerin etkileri;

Comparisons wrt "k.metodu" node in "ALTERNATIVES" cluster  
tip1 is moderately to strongly more important than tip2

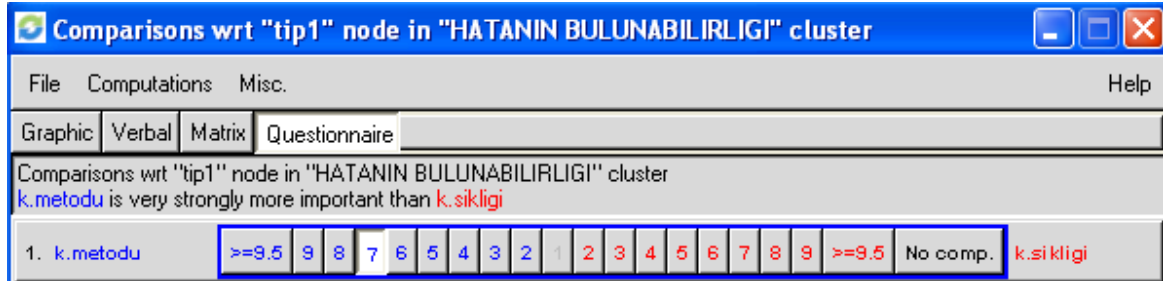
1. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip2
2. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip3
3. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip4
4. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip5
5. tip1	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip6
6. tip2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip3
7. tip2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip4
8. tip2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip5
9. tip2	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip6
10. tip3	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	tip4

Şekil C.7.a. Hata türlerinin etkileri



Şekil C.7.b. Hata olasılığı kriterlerinin etkileri

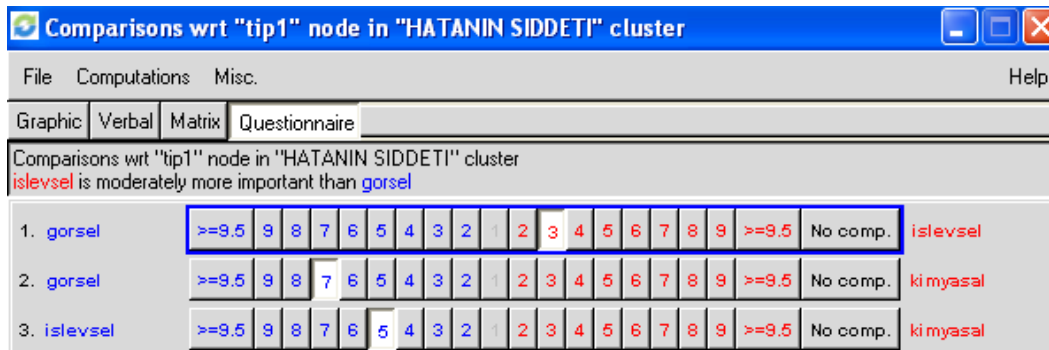
## 8) Hata Tip 1'e, alt kriterlerin etkileri;



Şekil C.8.a. Hata bulunabilirliği kriterlerinin etkileri

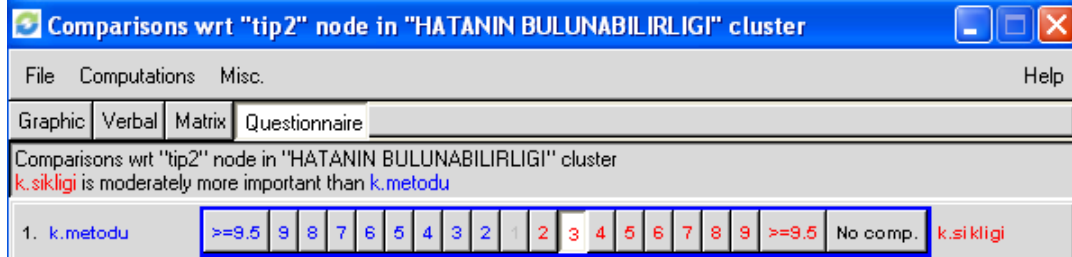


Şekil C.8.b. Hata olasılığı kriterlerinin etkileri



Şekil C.8.c. Hata şiddeti kriterlerinin etkileri

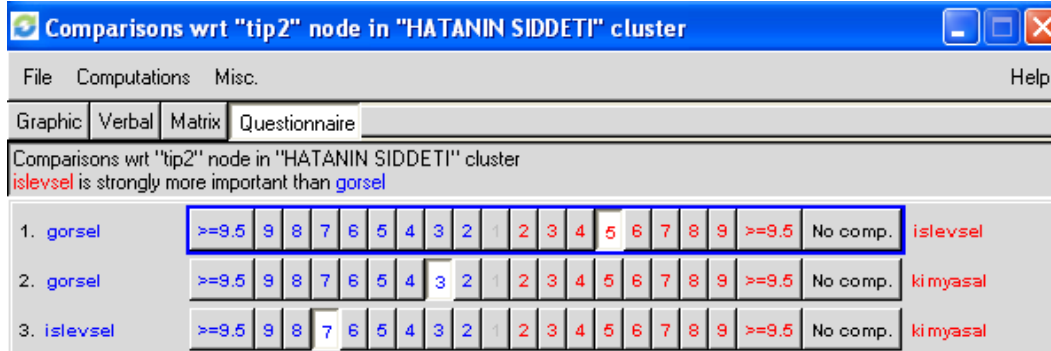
## 9) Hata Tip 2'ye, alt kriterlerin etkileri;



Şekil C.9.a. Hata bulunabilirliği kriterlerinin etkileri

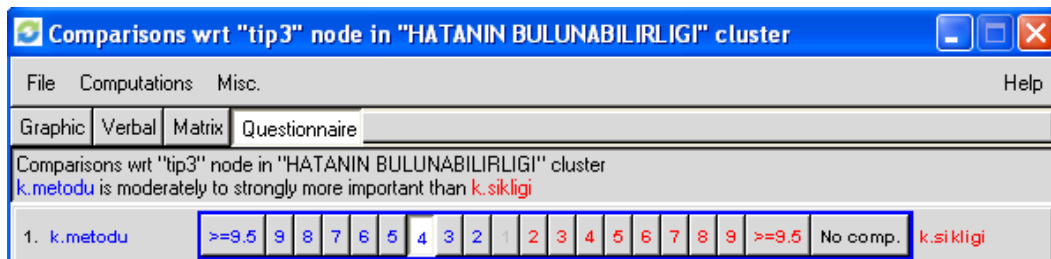


Şekil C.9.b. Hata olasılığı kriterlerinin etkileri



Şekil C.9.c. Hata şiddeti kriterlerinin etkileri

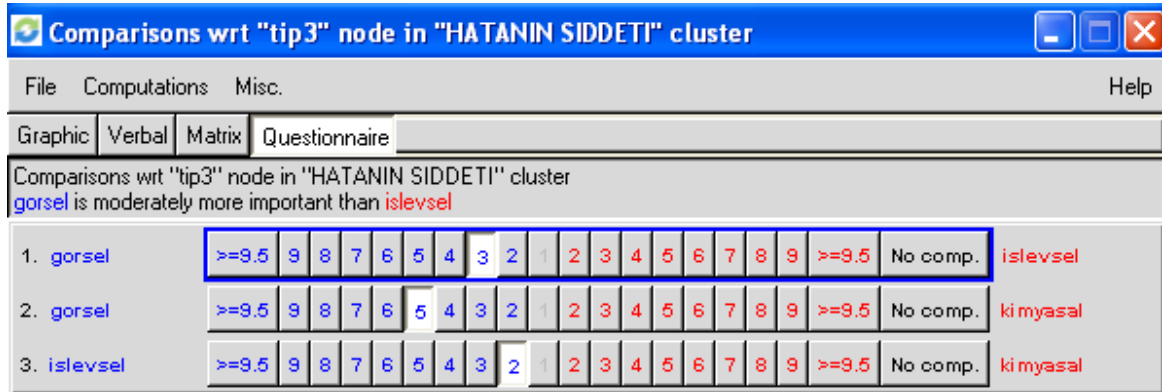
## 10) Hata Tip 3'e, alt kriterlerin etkileri;



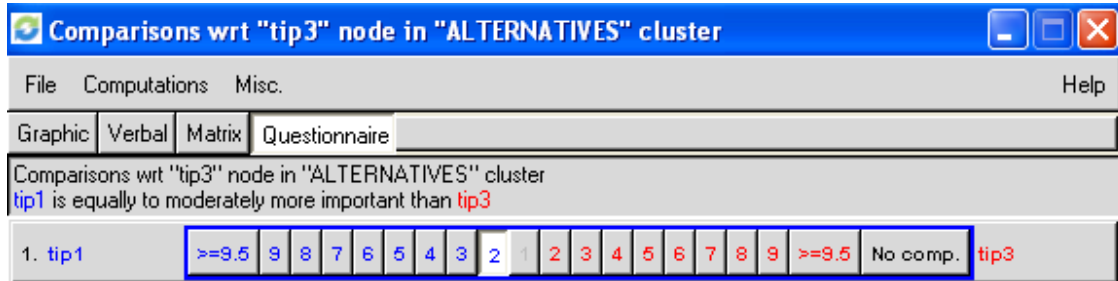
Şekil C.10.a. Hata bulunabilirliği kriterlerinin etkileri



Şekil C.10.b. Hata olasılığı kriterlerinin etkileri

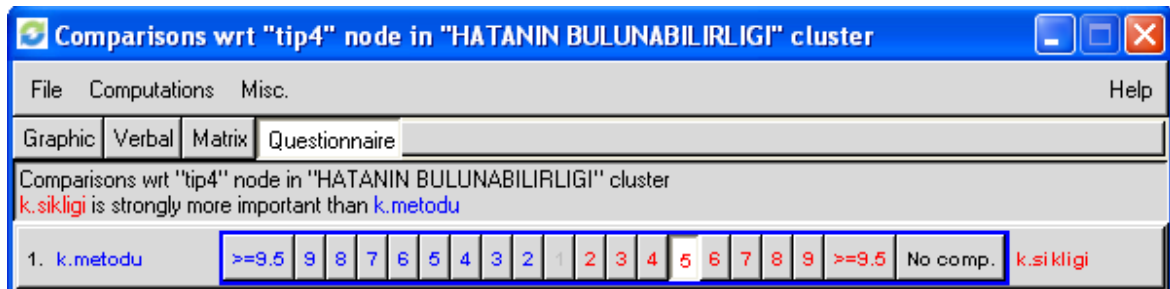


Şekil C.10.c. Hata şiddeti kriterlerinin etkileri



Şekil C.10.d. Hata türlerinin etkileri

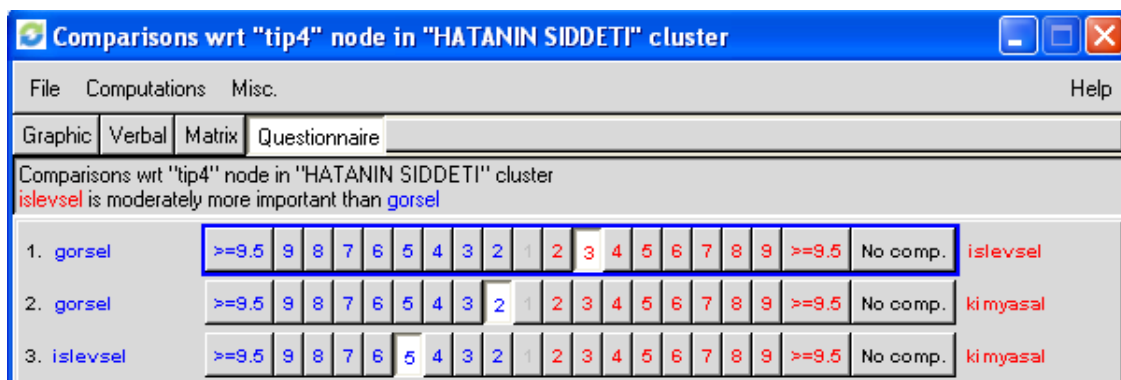
## 11) Hata Tip 4'e, alt kriterlerin etkileri;



Şekil C.11.a. Hata bulunabilirliği kriterlerinin etkileri

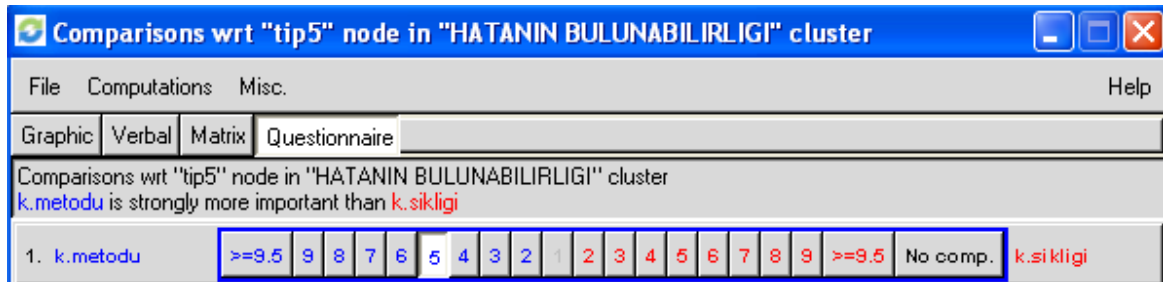


Şekil C.11.b. Hata olasılığı kriterlerinin etkileri



Şekil C.11.c. Hata şiddeti kriterlerinin etkileri

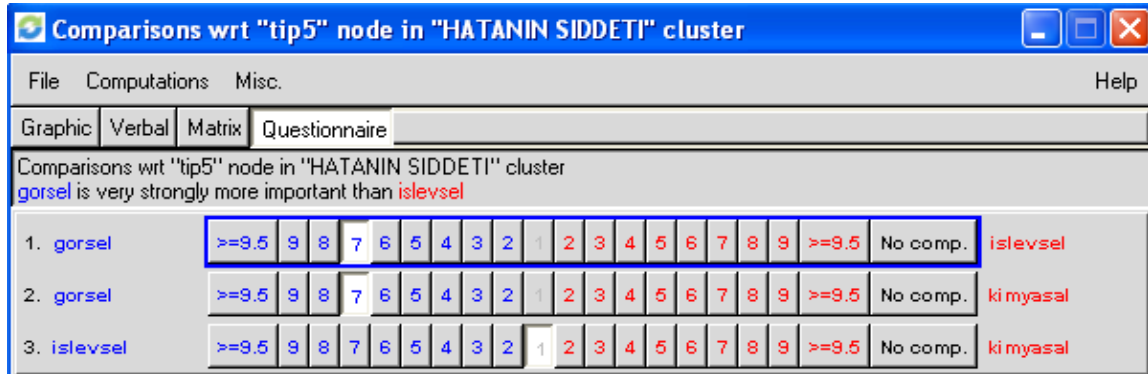
## 12) Hata Tip 5'e, alt kriterlerin etkileri;



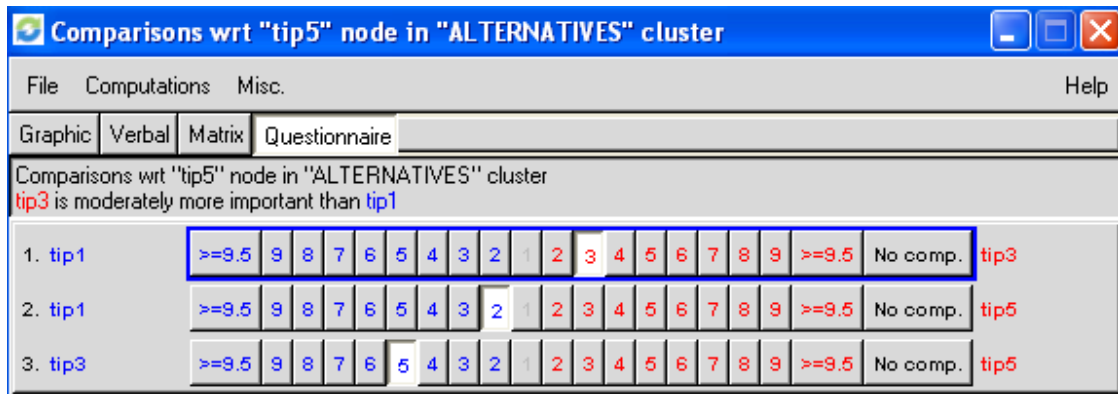
Şekil C.12.a. Hata bulunabilirliği kriterlerinin etkileri



Şekil C.12.b. Hata olasılığı kriterlerinin etkileri

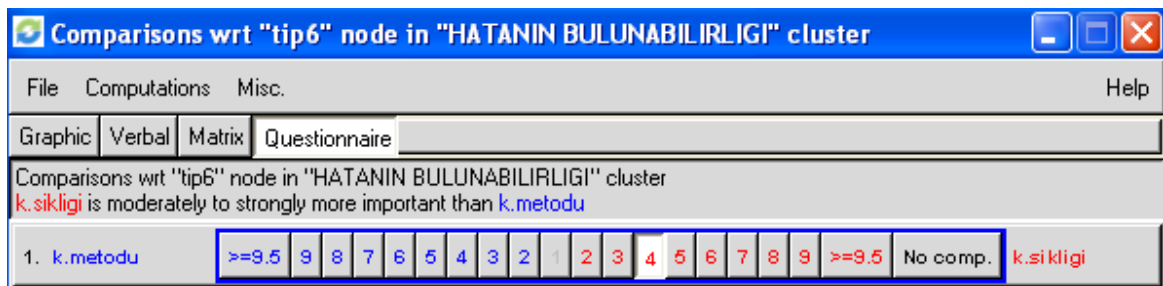


Şekil C.12.c. Hata şiddeti kriterlerinin etkileri

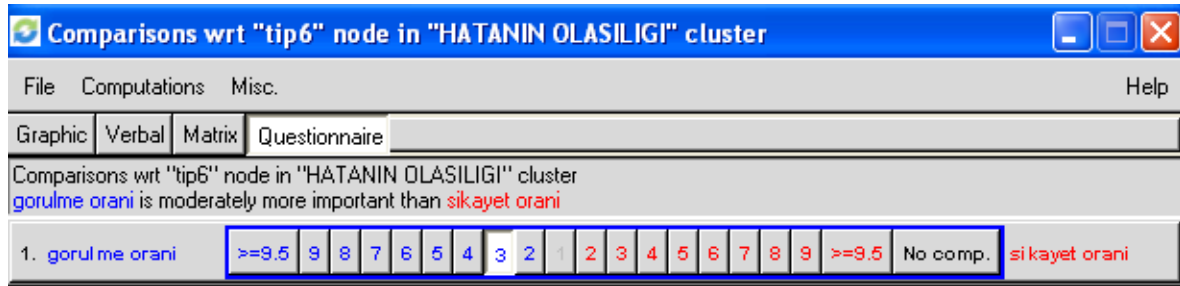


Şekil C.12.d. Hata türlerinin etkileri

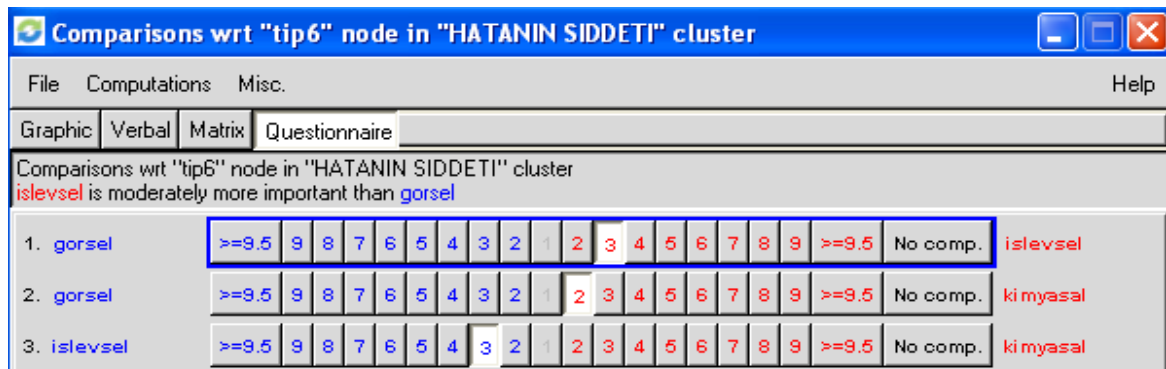
#### 14) Hata Tip 6'ya, alt kriterlerin etkileri;



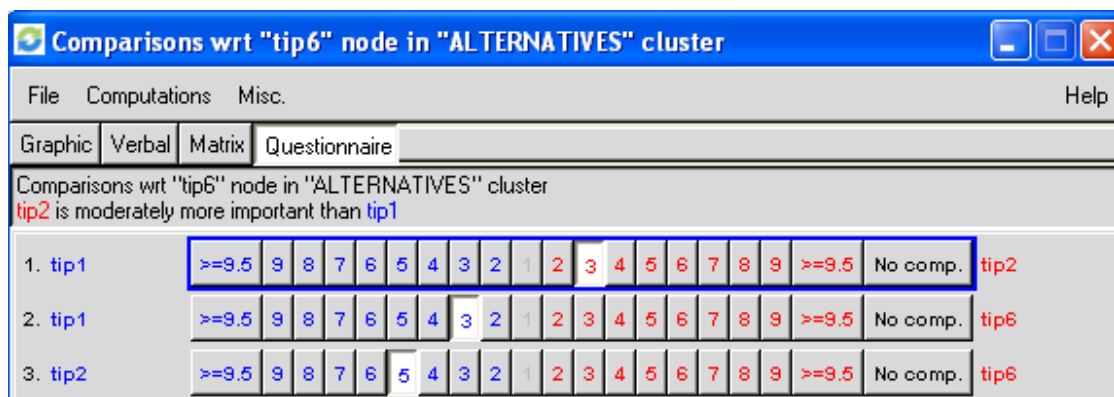
Şekil C.13.a. Hata bulunabilirliği kriterlerinin etkileri



Şekil C.13.b. Hata olasılığı kriterlerinin etkileri



Şekil C.13.c. Hata şiddeti kriterlerinin etkileri



Şekil C.13.d. Hata türlerinin etkileri

**EK-D. Karşılaştırmalı Matrisler**

## D.I.Bulunabilirlik Kriterlerinin Etkilenimi

Tablo D.I.1.a. Olasılık Kriterlerinin Kontrol Metodu Üzerine Etkileri:

KM	GO	ŞO	Geo.Ort.	GAV
GO	1	0,333	0,58	0,25
ŞO	3	1	1,73 2,31	0,75

Tablo D.I.1.b. Olasılık Kriterlerinin Kontrol Sıklığı Üzerine Etkileri:

KS	GO	ŞO	Geo.Ort.	GAV
GO	1	0,2	0,45	0,17
ŞO	5	1	2,24 2,68	0,83

Tablo D.I.2.a. Hata Tiplerinin Kontrol Metodu Üzerine Etkileri:

KM	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5	Tip6	Geo.Ort.	GAV
Tip1	1	4	0,333	5	3	5	2,15	0,26
Tip2	0,25	1	0,2	3	0,25	1	0,68	0,08
Tip3	3	5	1	7	2	5	3,19	0,38
Tip4	0,2	0,333	0,143	1	0,2	0,2	0,27	0,03
Tip5	0,333	4	0,5	5	1	3	1,47	0,17
Tip6	0,2	1	0,2	5	0,333	1	0,64 8,40	0,08

Tablo D.I.2.b. Hata Tiplerinin Kontrol Sıklığı Üzerine Etkileri:

KS	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5	Tip6	Geo.Ort.	GAV
Tip1	1	5	0,333	3	2	3	1,76	0,21
Tip2	0,2	1	0,143	0,143	0,2	0,333	0,25	0,03
Tip3	3	7	1	5	3	5	3,41	0,41
Tip4	0,333	7	0,2	1	0,333	5	0,96	0,12
Tip5	0,5	5	0,333	3	1	4	1,47	0,18
Tip6	0,333	3	0,2	0,2	0,25	1	0,46 8,32	0,06



## D.II. Olasılık Kriterlerinin Etkilenimi

Tablo D.II.1.a. Hata Tiplerinin Görülme Oranı Üzerine Etkileri:

GO	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5	Tip6	Geo.Ort.	GAV
Tip1	1	0,2	0,333	0,333	2	0,333	0,50	0,06
Tip2	5	1	3	5	3	4	3,11	0,40
Tip3	3	0,333	1	3	5	3	1,89	0,24
Tip4	3	0,2	0,333	1	3	0,333	0,76	0,10
Tip5	0,5	0,333	0,2	0,333	1	0,333	0,39	0,05
Tip6	3	0,25	0,333	3	3	1	1,14 7,79	0,15

Tablo D.II.1.b. Hata Tiplerinin Şikayet Oranı Üzerine Etkileri:

FO	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5	Tip6	Geo.Ort.	GAV
Tip1	1	0,2	0,2	1	3	5	0,92	0,11
Tip2	5	1	5	7	5	5	4,04	0,48
Tip3	5	0,2	1	3	3	3	1,73	0,21
Tip4	1	0,143	0,333	1	3	1	0,72	0,09
Tip5	0,333	0,2	0,333	0,333	1	0,333	0,37	0,04
Tip6	0,2	0,2	0,333	1	3	1	0,58 8,37	0,07

## D.III.Etki Kriterlerinin Etkilenimi

Tablo D.III.1.a. Olasılık Kriterlerinin Görsellik Üzerine Etkileri:

Görsellik	GO	ŞO	Geo.Ort.	GAV
GO	1	5	2,24	0,83
ŞO	0,2	1	0,45 2,68	0,17

Tablo D.III.1.b. Olasılık Kriterlerinin İşlevsellik Üzerine Etkileri:

İşlevsellik	GO	ŞO	Geo.Ort.	GAV
GO	1	3	1,73	0,75
ŞO	0,333	1	0,58 2,31	0,25



Tablo D.III.3.b. Hata Tiplerinin İşlevsellik Üzerine Etkileri:

İşlevsellik	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5	Tip6	Geo.Ort.	GAV
Tip1	1	0,333	2	3	3	3	1,62	0,22
Tip2	3	1	3	5	3	3	2,72	0,38
Tip3	0,5	0,333	1	2	1	1	0,83	0,12
Tip4	0,333	0,2	0,5	1	0,5	0,333	0,42	0,06
Tip5	0,333	0,333	1	2	1	1	0,78	0,11
Tip6	0,333	0,333	1	3	1	1	0,83 7,20	0,12

Tablo D.III.3.c. Hata Tiplerinin Kimyasallık Üzerine Etkileri:

Kimyasallık	Tip1	Tip2	Tip3	Tip4	Tip5	Tip6	Geo.Ort.	GAV
Tip1	1	0,2	0,333	0,2	0,333	0,5	0,36	0,05
Tip2	5	1	3	1	3	4	2,38	0,31
Tip3	3	0,333	1	0,333	1	2	0,93	0,12
Tip4	5	1	3	1	3	4	2,38	0,31
Tip5	3	0,333	1	0,333	1	3	1,00	0,13
Tip6	2	0,25	0,5	0,25	0,333	1	0,52 7,57	0,07

## D.IV.Hata Tiplerinin Etkilenimi

Tablo D.IV.1.a. Etki Kriterlerinin Hata Tip1 (Alaşım Hatası) Üzerine Etkileri:

Tip 1	G	İ	K	Geo.Ort.	GAV
G	1	0,333	7	1,33	0,32
İ	3	1	5	2,47	0,60
K	0,143	0,2	1	0,31 4,10	0,07

Tablo D.IV.1.b. Olasılık Kriterlerinin Hata Tip1 (Alaşım Hatası) Üzerine Etkileri:

Tip 1	GO	ŞO	Geo.Ort.	GAV
GO	1	2	1,41	0,67
ŞO	0,5	1	0,71 2,12	0,33

Tablo D.IV.1.c. Bulunabilirlik Kriterlerinin Hata Tip1 (Alaşım Hatası) Üzerine Etkileri:

Tip 1	KM	KS	Geo.Ort.	GAV
KM	1	7	2,65	0,87
KS	0,143	1	0,38 3,02	0,13

Tablo D.IV.2.a. Etki Kriterlerinin Hata Tip2 (Kalıp/ölçü hatası) Üzerine Etkileri:

Tip 2	G	İ	K	Geo.Ort.	GAV
G	1	0,2	3	0,84	0,19
İ	5	1	7	3,27	0,73
K	0,333	0,143	1	0,36 4,48	0,08

Tablo D.IV.2.b. Olasılık Kriterlerinin Hata Tip2 (Kalıp/ölçü hatası) Üzerine Etkileri:

Tip 2	GO	ŞO	Geo.Ort.	GAV
GO	1	3	1,73	0,75
ŞO	0,333	1	0,58 2,31	0,25

Tablo D.IV.2.c. Bulunabilirlik Kriterlerinin Hata Tip2 (Kalıp/ölçü hatası) Üzerine Etkileri:

Tip 2	KM	KS	Geo.Ort.	GAV
KM	1	0,333	0,58	0,25
KS	3	1	1,73 2,31	0,75

Tablo D.IV.3.a. Etki Kriterlerinin Hata Tip3 (Yüzey pürüzlülüğü) Üzerine Etkileri:

Tip 3	G	İ	K	Geo.Ort.	GAV
G	1	3	5	2,47	0,65
İ	0,333	1	2	0,87	0,23
K	0,2	0,5	1	0,46 3,80	0,12

Tablo D.IV.3.b. Olasılık Kriterlerinin Hata Tip3 (Yüzey pürüzlülüğü) Üzerine Etkileri:

Tip 3	GO	ŞO	Geo.Ort.	GAV
GO	1	3	1,73	0,75
ŞO	0,333	1	0,58	0,25
			2,31	

Tablo D.IV.3.c. Bulunabilirlik Kriterlerinin Hata Tip3 (Yüzey pürüzlülüğü) Üzerine Etkileri:

Tip 3	KM	KS	Geo.Ort.	GAV
KM	1	4	2,00	0,80
KS	0,25	1	0,50	0,20
			2,50	

Tablo D.IV.3.d. Hata Türlerinin Hata Tip3 (Yüzey pürüzlülüğü) Üzerine Etkileri:

Tip 3	Tip 1	Tip 2	Geo.Ort.	GAV
Tip 1	1	2	1,41	0,67
Tip 3	0,5	1	0,71	0,33
			2,12	

Tablo D.IV.4.a. Etki Kriterlerinin Hata Tip4 (Yanlış boy kesim) Üzerine Etkileri:

Tip 4	G	İ	K	Geo.Ort.	GAV
G	1	0,333	2	0,87	0,23
İ	3	1	5	2,47	0,65
K	0,5	0,2	1	0,46	0,12
				3,80	

Tablo D.IV.4.b. Olasılık Kriterlerinin Hata Tip4 (Yanlış boy kesim) Üzerine Etkileri:

Tip4	GO	ŞO	Geo.Ort.	GAV
GO	1	2	1,41	0,67
ŞO	0,5	1	0,71	0,33
			2,12	

Tablo D.IV.4.c. Bulunabilirlik Kriterlerinin Hata Tip4 (Yanlış boy kesim) Üzerine Etkileri:

Tip4	KM	KS	Geo.Ort.	GAV
KM	1	0,2	0,45	0,17
KS	5	1	2,24	0,83
			2,68	

Tablo D.IV.5.a. Etki Kriterlerinin Hata Tip5 (Boya mikron hatası) Üzerine Etkileri:

Tip 5	G	İ	K	Geo.Ort.	GAV
G	1	7	7	3,66	0,65
İ	0,143	1	1	1,00	0,18
K	0,143	1	1	1,00	0,18
				5,66	

Tablo D.IV.5.b. Olasılık Kriterlerinin Hata Tip5 (Boya mikron hatası) Üzerine Etkileri:

Tip 5	GO	ŞO	Geo.Ort.	GAV
GO	1	3	1,73	0,75
ŞO	0,333	1	0,58	0,25
			2,31	

Tablo D.IV.5.c. Bulunabilirlik Kriterlerinin Hata Tip5 (Boya mikron hatası) Üzerine Etkileri:

Tip 5	KM	KS	Geo.Ort.	GAV
KM	1	5	2,24	0,83
KS	0,2	1	0,45	0,17
			2,68	

Tablo D.IV.5.d. Diğer Hata Türlerinin Hata Tip5 (Boya mikron hatası) Üzerine Etkileri:

Tip 5	Tip1	Tip3	Tip5	Geo.Ort.	GAV
Tip1	1	0,333	2	0,87	0,23
Tip3	3	1	5	2,47	0,65
Tip5	0,5	0,2	1	0,46	0,12
				3,80	

Tablo D.IV.6.a. Etki Kriterlerinin Hata Tip6 (Profil birim ağırlık farkı) Üzerine Etkileri:

Tip 6	G	İ	K	Geo.Ort.	GAV
G	1	0,333	0,5	0,55	0,16
İ	3	1	3	2,08	0,59
K	2	0,333	1	0,87	0,25
				3,50	

Tablo D.IV.6.b. Olasılık Kriterlerinin Hata Tip6 (Profil birim ağırlık farkı) Üzerine Etkileri:

Tip 6	GO	ŞO	Geo.Ort.	GAV
GO	1	3	1,73	0,75
ŞO	0,333	1	0,58	0,25
			2,31	

Tablo D.IV.6.c. Bulunabilirlik Kriterlerinin Hata Tip6 (Profil birim ağırlık farkı) Üzerine Etkileri:

Tip 6	KM	KS	Geo.Ort.	GAV
KM	1	0,25	0,50	0,20
KS	4	1	2,00	0,80
			2,50	

Tablo D.IV.6.d. Diğer Hata Türlerinin Hata Tip6 (Profil birim ağırlık farkı) Üzerine Etkileri:

Tip 6	Tip1	Tip2	Tip6	Geo.Ort.	GAV
Tip1	1	0,333	3	1,00	0,26
Tip2	3	1	5	2,47	0,64
Tip6	0,333	0,2	1	0,41	0,10
				3,87	

### EK-E. Superdecision Paket Programından Elde Edilen Sonuçlar

Cluster Node Labels		ALTERNATIFLER	HATANIN BULUNABİLİRLİĞİ		HATANIN OLASILIĞI		HATANIN SİDDETI		
		tip6	k.metodu	k.sikligi	gorulme orani	sikayet orani	gorsel	islevsel	kimyasal
ALTERNATIFLER	tip6	0.104729	0.076801	0.055372	0.146674	0.068523	0.036021	0.114832	0.069993
HATANIN BULUNABİLİRLİĞİ	k.metodu	0.200000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.500000	0.333333	0.249981
	k.sikligi	0.800000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.500000	0.666667	0.750019
HATANIN OLASILIĞI	gorulme orani	0.750000	0.249981	0.166667	0.000000	1.000000	0.833333	0.750000	0.750000
	sikayet orani	0.250000	0.750019	0.833333	0.000000	0.000000	0.166667	0.250000	0.250000
HATANIN SİDDETI	gorsel	0.157048	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	islevsel	0.593645	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	kimyasal	0.249307	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	1.000000	0.000000

Şekil E.1. Ağırlıklandırılmamış Süpermatris Superdecision Ekran Görüntüsü

Cluster Node Labels	ALTERNATIVES	HATANIN BULUNABİLİRLİĞİ	HATANIN OLASILIĞI	HATANIN SİDDETI
ALTERNATIVES	0.250000	0.160573	0.500000	0.250000
HATANIN BULUNABİLİRLİĞİ	0.250000	0.237690	0.000000	0.250000
HATANIN OLASILIĞI	0.250000	0.169141	0.500000	0.250000
HATANIN SİDDETI	0.250000	0.432596	0.000000	0.250000

Done

Şekil E.2. Küme Ağırlıkları Matrisi Superdecision Ekran Görüntüsü



Cluster Node Labels		ALTERNATIFLER	HATANIN BULUNABİLİRLİĞİ		HATANIN OLASILIĞI		HATANIN SİDDETI		
		tip6	k.metodu	k.sikligi	gorulme orani	sikayet orani	gorsel	islevsel	kimyasal
ALTERNATIFLER	tip6	0.026182	0.037402	0.015670	0.146674	0.034262	0.009005	0.028708	0.023331
HATANIN BULUNABİLİRLİĞİ	k.metodu	0.050000	0.000000	0.418907	0.000000	0.000000	0.125000	0.083333	0.083327
	k.sikligi	0.200000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.125000	0.166667	0.250006
HATANIN OLASILIĞI	gorulme orani	0.187500	0.128239	0.049683	0.000000	0.500000	0.208333	0.187500	0.250000
	sikayet orani	0.062500	0.384755	0.248414	0.000000	0.000000	0.041667	0.062500	0.083333
HATANIN SİDDETI	gorsel	0.039262	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	islevsel	0.148411	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	kimyasal	0.062327	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.250000	0.250000	0.000000

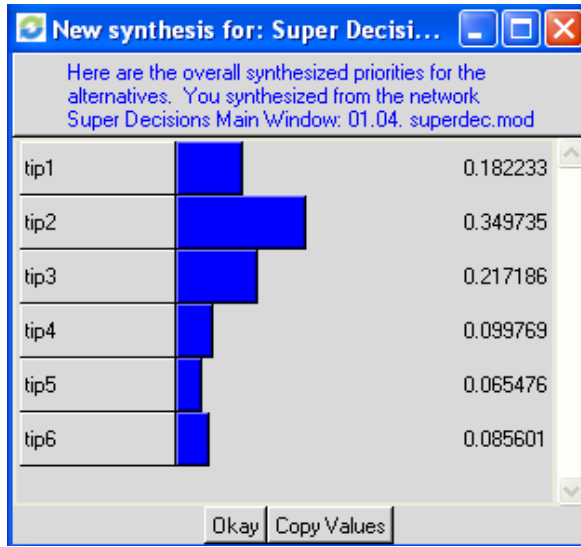
Done

Şekil E.3. Ağırlıklandırılmış Süpermatris Superdecision Ekran Görüntüsü

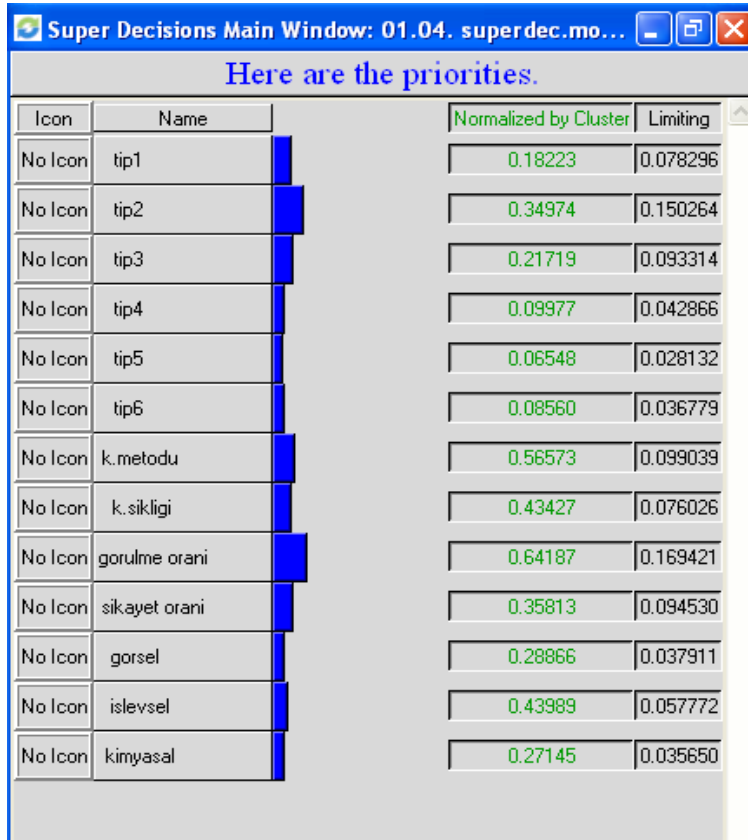
Cluster Node Labels		ALTERNATIFLER	HATANIN BULUNABİLİRLİĞİ		HATANIN OLASILIĞI		HATANIN SİDDETI		
		tip6	k.metodu	k.sikligi	gorulme orani	sikayet orani	gorsel	islevsel	kimyasal
ALTERNATIFLER	tip6	0.036779	0.036779	0.036779	0.036779	0.036779	0.036779	0.036779	0.036779
HATANIN BULUNABİLİRLİĞİ	k.metodu	0.099039	0.099039	0.099039	0.099039	0.099039	0.099039	0.099039	0.099039
	k.sikligi	0.076026	0.076026	0.076026	0.076026	0.076026	0.076026	0.076026	0.076026
HATANIN OLASILIĞI	gorulme orani	0.169421	0.169421	0.169421	0.169421	0.169421	0.169421	0.169421	0.169421
	sikayet orani	0.094530	0.094530	0.094530	0.094530	0.094530	0.094530	0.094530	0.094530
HATANIN SİDDETI	gorsel	0.037911	0.037911	0.037911	0.037911	0.037911	0.037911	0.037911	0.037911
	islevsel	0.057772	0.057772	0.057772	0.057772	0.057772	0.057772	0.057772	0.057772
	kimyasal	0.035650	0.035650	0.035650	0.035650	0.035650	0.035650	0.035650	0.035650

Done

Şekil E.4. Limit Matris Superdecision Ekran Görüntüsü

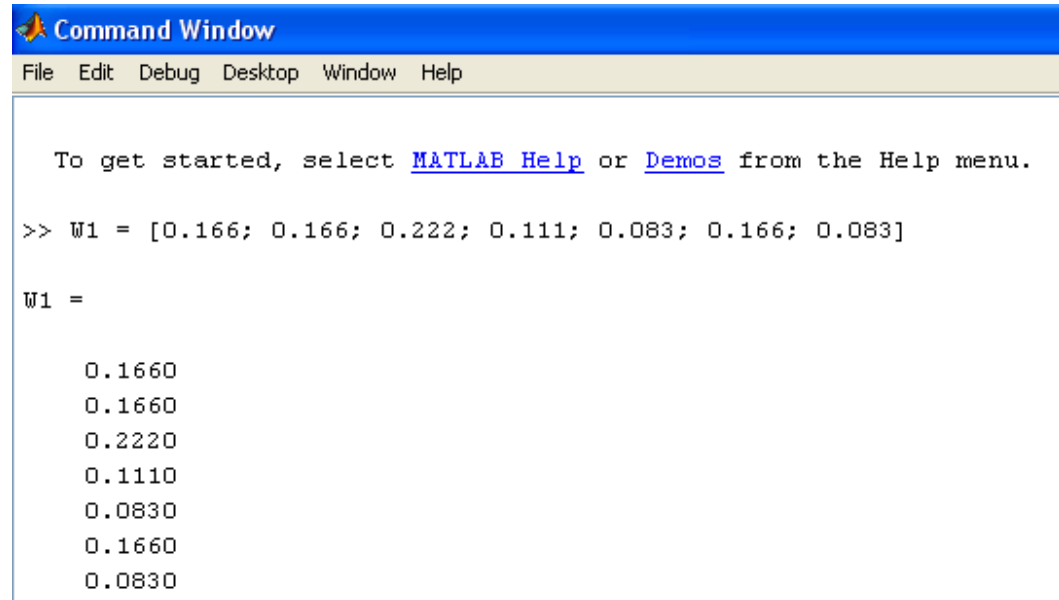


Şekil E.5. Superdecision AAS sonuç ekranı



Şekil E.6. Superdecision "Priorities" sonuç ekranı

## EK-F. Bulanık-AAS MATLAB Çözümü Sonuçları



Command Window

File Edit Debug Desktop Window Help

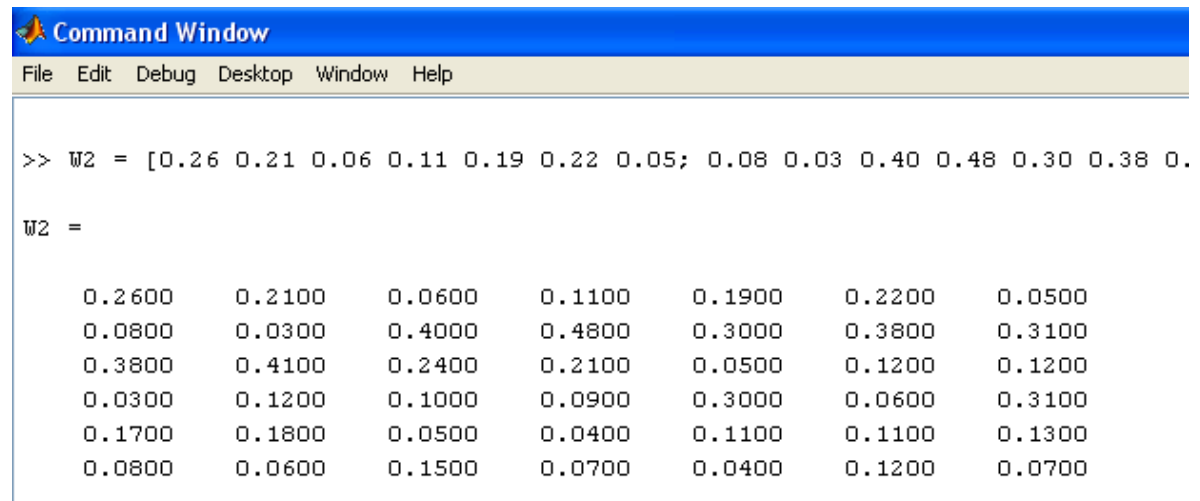
To get started, select [MATLAB Help](#) or [Demos](#) from the Help menu.

```
>> W1 = [0.166; 0.166; 0.222; 0.111; 0.083; 0.166; 0.083]
```

W1 =

```
0.1660
0.1660
0.2220
0.1110
0.0830
0.1660
0.0830
```

Şekil F.1. MATLAB  $W_1$  matrisi



Command Window

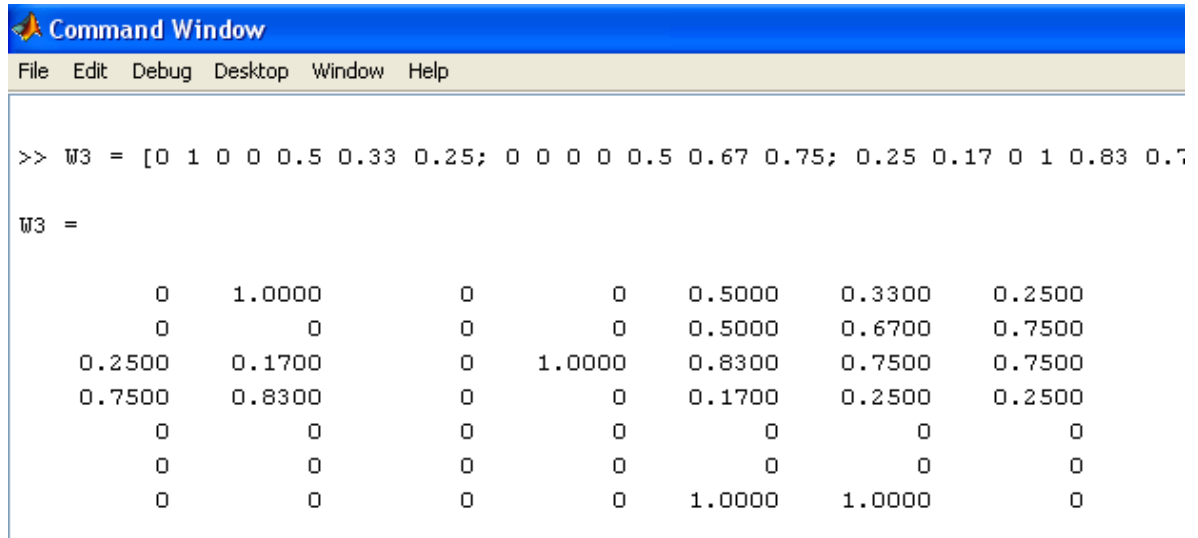
File Edit Debug Desktop Window Help

```
>> W2 = [0.26 0.21 0.06 0.11 0.19 0.22 0.05; 0.08 0.03 0.40 0.48 0.30 0.38 0.
```

W2 =

```
0.2600    0.2100    0.0600    0.1100    0.1900    0.2200    0.0500
0.0800    0.0300    0.4000    0.4800    0.3000    0.3800    0.3100
0.3800    0.4100    0.2400    0.2100    0.0500    0.1200    0.1200
0.0300    0.1200    0.1000    0.0900    0.3000    0.0600    0.3100
0.1700    0.1800    0.0500    0.0400    0.1100    0.1100    0.1300
0.0800    0.0600    0.1500    0.0700    0.0400    0.1200    0.0700
```

Şekil F.2. MATLAB  $W_2$  matrisi



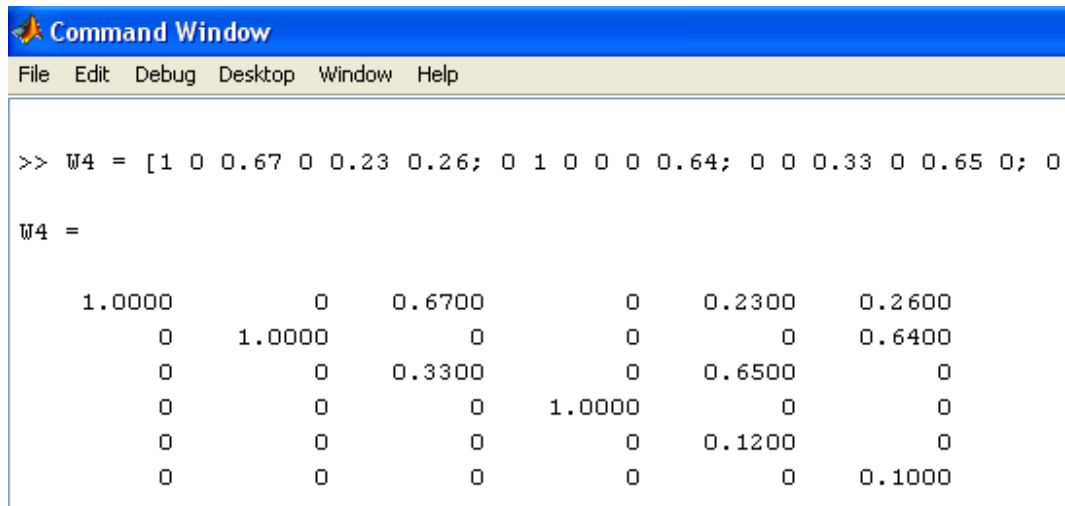
Command Window

File Edit Debug Desktop Window Help

```
>> W3 = [0 1 0 0 0.5 0.33 0.25; 0 0 0 0 0.5 0.67 0.75; 0.25 0.17 0 1 0.83 0.75; 0.75 0.83 0 0 0.17 0.25 0.25; 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 1.0000 1.0000 0]
```

W3 =

0	1.0000	0	0	0.5000	0.3300	0.2500
0	0	0	0	0.5000	0.6700	0.7500
0.2500	0.1700	0	1.0000	0.8300	0.7500	0.7500
0.7500	0.8300	0	0	0.1700	0.2500	0.2500
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1.0000	1.0000	0

Şekil F.3. MATLAB  $W_3$  matrisi


Command Window

File Edit Debug Desktop Window Help

```
>> W4 = [1 0 0.67 0 0.23 0.26; 0 1 0 0 0 0.64; 0 0 0.33 0 0.65 0; 0 0 0 0 1.0000 0; 0 0 0 0 0 0.1200; 0 0 0 0 0 0.1000]
```

W4 =

1.0000	0	0.6700	0	0.2300	0.2600
0	1.0000	0	0	0	0.6400
0	0	0.3300	0	0.6500	0
0	0	0	1.0000	0	0
0	0	0	0	0.1200	0
0	0	0	0	0	0.1000

Şekil F.4. MATLAB  $W_4$  matrisi

```

Command Window
File Edit Debug Desktop Window Help

>> WC = W3 * W1

WC =

    0.2830
    0.2150
    0.4364
    0.3386
         0
         0
    0.2490

>> WA = W4 * W2

WA =

    0.5745    0.5417    0.2713    0.2781    0.2592    0.3569    0.1785
    0.1312    0.0684    0.4960    0.5248    0.3256    0.4568    0.3548
    0.2359    0.2523    0.1117    0.0953    0.0880    0.1111    0.1241
    0.0300    0.1200    0.1000    0.0900    0.3000    0.0600    0.3100
    0.0204    0.0216    0.0060    0.0048    0.0132    0.0132    0.0156
    0.0080    0.0060    0.0150    0.0070    0.0040    0.0120    0.0070

>> WANP = WA * WC

WANP =

    0.5361
    0.5343
    0.2329
    0.1856
    0.0185
    0.0142

>>

```

Şekil F.5. MATLAB  $W_A$ ,  $W_C$ ,  $W_{ANP}$  matrisleri

## ÖZGEÇMİŞ

Rabia CANBOLAT, 06.01.1983'te Ankara'da doğdu. İlköğrenimini Malatya'da, orta ve lise eğitimini Konya'da tamamladı. 2005 yılında Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği bölümünü bitirdi. 2005 – 2007 yıllarında Asaş Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de Kalite Yönetim Proje Mühendisi olarak çalıştı. 2006 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği bölümünde yüksek lisans çalışmasına başladı. Halen T.C. Başbakanlık Hazine Müsteşarlığı Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı'nda Uzman Yardımcısı olarak görev yapmaktadır.