

**BULANIK PIPRECIA TABANLI HTEA YÖNTEMİNİN  
TARIMSAL RİSK ANALİZİ UYGULAMASI**

**FUZZY PIPRECIA BASED FMEA METHOD FOR  
AGRICULTURAL RISK ANALYSIS APPLICATION**

**EBRU SEHMEN**

**PROF.DR. ÖZLEM MÜGE TESTİK**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2024



# ÖZET

## BULANIK PIPRECIA TABANLI HTEA YÖNTEMİNİN TARIMSAL RİSK ANALİZİ UYGULAMASI

**Ebru SEHMEN**

**Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Özlem Müge TESTİK**

**Haziran 2024, 87 sayfa**

Sunulan tez kapsamında, tarımsal Ar-Ge çalışmaları üzerine faaliyet gösteren bir kuruluştaki gerçekleştirilen ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması bakımından kritik role sahip buğday ve arpa ıslah çalışmaları sırasındaki olası hata modlarının tanımlanarak, teknik açıdan risk oluşturabilecek alanların ve risk önceliklerinin saptanmasını içeren bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, riskler hem klasik HTEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi), hem de önerilen Bulanık PIPRECIA (PIvot Pairwise RELative Criteria Importance Assessment) ve HTEA entegre yaklaşımı ile ayrı ayrı analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak bütünlük yaklaşımının etkinliği ve performansı ölçülmüştür. Önerilen modelde, klasik yaklaşımdan farklı olarak HTEA ekip üyeleri birer kriter gibi düşünülmüş ve üyeler üç karar vericinin görüşleri doğrultusunda arazi tecrübe ve bitki ıslah bilgilerine göre Bulanık PIPRECIA yöntemi ile değerlendirilerek her birine bir ağırlık ataması yapılmıştır. Modelin geçerliliği Spearman ve Pearson korelasyon katsayılarına bakılarak ölçülmüştür. Daha sonra, bu

değerler HTEA ekip üyeleri tarafından yapılan puanlamalara entegre edilmiş, bulunan değerlerin de geometrik ortalaması alınarak olasılık, şiddet ve saptanabilirlik parametreleri için ortak bir girdi değeri elde edilmiş ve RÖS (Risk Öncelik Sayısı) skorları hesaplanmıştır. Modelin doğrulanması için ise kriter ağırlıklarında değişiklik yapılarak duyarlılık analizi yapılmıştır. Son olarak, önerilen model sonuçları ile klasik HTEA yöntemi sonuçları karşılaştırılarak modelin uygulanabilirliği ve etkinliği ölçülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Risk Analizi, HTEA, Hata Türü ve Etkileri Analizi, PIPRECIA, Bulanık PIPRECIA, Tarım

## **ABSTRACT**

# **FUZZY PIPRECIA BASED FMEA METHOD FOR AGRICULTURAL RISK ANALYSIS APPLICATION**

**Ebru SEHMEN**

**Master of Science, Department of Industrial Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Özlem Müge TESTİK**

**June 2024, 87 pages**

Within the scope of the presented thesis, it is aimed to develop a model that includes the identification of possible failure modes during wheat and barley breeding studies, which are carried out in an organization operating on agricultural R&D studies and which have a critical role in ensuring the sustainability of agricultural production, and the determination of areas that may pose technical risks and risk priorities. In this regard, risks were analyzed separately with both classical FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) and the proposed Fuzzy PIPRECIA (PIvot Pairwise RElative Criteria Importance Assessment) and FMEA integrated approach, and the effectiveness and performance of the integrated approach were measured by comparing the results obtained. In the proposed model, unlike the classical approach, FMEA team members were considered as criteria and members were evaluated with the Fuzzy PIPRECIA method according to their field experience and plant breeding information in line with the

opinions of three decision makers and weight was assigned to each of them. The validity of the model was measured by considering Spearman and Pearson correlation coefficients. Then, these values were integrated into the points given by the FMEA team members, and a common input value was obtained for the probability, severity and detectability parameters by taking the geometric mean of these values, and RPN (Risk Priority Number) scores were calculated. To verify the model, sensitivity analysis was performed by changing the criterion weights. Finally, the applicability and effectiveness of the model were measured by comparing the proposed model results with the classical FMEA method results.

**Keywords:** Risk Analysis, FMEA, Failure Mode and Effect Analysis, PIPRECIA, Fuzzy PIPRECIA, Agriculture

## TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim süresince her konuda destek olan, tez çalışmam boyunca da başından sonuna kadar bana değerli zamanını ayırarak ve çalışmalarımı özenle inceleyerek engin bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ve pozitif yaklaşımı ve enerjisiyle beni motive eden değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Özlem Müge TESTİK'e,

Lisans ve lisansüstü eğitimim boyunca bilgi ve deneyimleriyle mesleki gelişimime katkıda bulunan, emeği geçen başta değerli hocam Sayın Prof. Dr. Murat Caner TESTİK olmak üzere kıymetli tüm bölüm hocalarıma,

Desteklerinden dolayı yöneticilerime ve benimle değerli vakitlerini ve bilgilerini paylaşarak çalışmama katkıda bulunan katılımcı tüm arkadaşlarıma,

Bu süreçte beni her zaman destekleyen, bana sabır ve anlayış göstererek hep yanımda olan sevgili aileme ve dostlarıma,

Sonsuz teşekkürler.

Ebru SEHMEN

Haziran 2024, Ankara

# İÇİNDEKİLER

ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Risk Analizi ve HTEA .....	3
2.2. PIPRECIA .....	8
2.3. Bulanık PIPRECIA .....	12
3. RİSK KAVRAMI VE HTEA.....	18
3.1. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA).....	19
3.1.1. HTEA Türleri .....	20
3.1.2. HTEA Uygulama Adımları .....	24
3.1.3. HTEA'ya Yönelik Eleştiriler .....	31
4. BULANIK MANTIK.....	33
4.1. Bulanık Küme Teorisi .....	34
4.2. Bulanık Sayılar ve Üyelik Fonksiyonları .....	34
4.3. Durulaştırma.....	37
4.4. Bulanık Karar Verme .....	39
5. PIPRECIA ve BULANIK PIPRECIA YÖNTEMLERİ.....	41
5.1. PIPRECIA .....	41
5.2. Bulanık PIPRECIA .....	42
6. TARIM ALANINDA AR-GE PROJELERİ.....	46



7. BULANIK PIPRECIA VE HTEA ENTEGRE YÖNTEMİ İLE RİSK ANALİZİ UYGULAMASI.....	50
8. SONUÇ ve ÖNERİLER .....	71
9. KAYNAKLAR .....	74
EKLER.....	82
EK 1 – Klasik HTEA Anket .....	82
EK 2 – Bulanık PIPRECIA ile Bütünleşik HTEA Anket.....	85

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Risk Analiz Yöntemleri [33].....	19
Şekil 3.2. HTEA Çeşitleri, Odak ve Amaçları [39] .....	21
Şekil 3.3. HTEA Uygulama Aşamaları [49] .....	31
Şekil 4.1. Klasik ve Bulanık Kümelerin Şekilsel Gösterimi .....	34
Şekil 4.2. Üçgen Bulanık Sayı, $M$ .....	35
Şekil 4.3. Yamuksal Bulanık Sayı, $A$ .....	36
Şekil 4.4. Gauss Üyelik Fonksiyonu .....	37
Şekil 4.5. En Büyük Üyelik Durulaştırma Metodu .....	38
Şekil 4.6. Sentroid Metodu.....	38
Şekil 4.7. Ağırlıklı Ortalama Metodu.....	39
Şekil 7.1. Önerilen Metodolojiye Ait Akış Şeması.....	52

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Olasılık derecelendirme tablosu [45].....	27
Çizelge 3.2. Şiddet derecelendirme tablosu [48] .....	28
Çizelge 3.3. Saptanabilirlik derecelendirme tablosu [48].....	29
Çizelge 5.1. Kriterlerin değerlendirilmesi için ölçek 0-1 .....	43
Çizelge 5.2. Kriterlerin değerlendirilmesi için ölçek 1-2 .....	43
Çizelge 7.1. Potansiyel Hata Modları .....	54
Çizelge 7.2. Potansiyel Hata Modları (devam).....	55
Çizelge 7.3. Karar Vericilere İlişkin Bilgiler.....	56
Çizelge 7.4. Buğday Birimi için Değerlendirmeler .....	60
Çizelge 7.5. Buğday Birimi Uygulama Sonuçları .....	60
Çizelge 7.6. Arpa Birimi için Değerlendirmeler.....	61
Çizelge 7.7. Arpa Birimi Uygulama Sonuçları.....	61
Çizelge 7.8. Kriterlerin Nihai Ağırlıkları (Buğday Birimi).....	62
Çizelge 7.9. Kriterlerin Nihai Ağırlıkları (Arpa Birimi) .....	62
Çizelge 7.10. Buğday Grubu İçin Duyarlılık Analizi ile Elde Edilen Ağırlıklar.....	64
Çizelge 7.11. Buğday Grubu İçin Duyarlılık Analizi ile Elde Edilen Sıralamalar .....	64
Çizelge 7.12. Arpa Grubu İçin Duyarlılık Analizi ile Elde Edilen Ağırlıklar .....	64
Çizelge 7.13. Arpa Grubu İçin Duyarlılık Analizi ile Elde Edilen Sıralamalar .....	65
Çizelge 7.14. Buğday Grubu İçin Elde Edilen Ağırlıklar ve Sıralamalar.....	65
Çizelge 7.15. Arpa Grubu İçin Elde Edilen Ağırlıklar ve Sıralamalar .....	65
Çizelge 7.16. Farklı Senaryolar için Risk Sıralaması .....	66
Çizelge 7.17. Farklı Senaryolar için Risk Sıralaması (devam).....	67
Çizelge 7.18. Farklı Senaryolar için Risk Sıralaması (devam).....	68
Çizelge 7.19. İki Yöntem Sıralamalarının Karşılaştırılması.....	69
Çizelge 7.20. İki Yöntem Sıralamalarının Karşılaştırılması (devam) .....	70

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$\mu$	Üyelik Fonksiyonu
$E$	Evrensel Küme
$O$	Olasılık
$S$	Şiddet
$D$	Saptanabilirlik
$l, m, u$	$\tilde{M}$ bulanık sayısının alt, orta ve üst değerleri
$a_1, a_2, a_3, a_4$	$\tilde{A}$ bulanık sayısının alt, orta ve üst değerleri
$c$	Fonksiyonun merkez noktası
$\sigma$	Merkez noktası etrafındaki ortalama sapma miktarı
$z^*$	Durulaştırılmış değer
$\bar{s}_j$	j.kriterin değerlendirilmesi
$\bar{k}_j$	j.kriterin katsayısı
$\bar{q}_j$	j.kriterin bulanık ağırlığı
$\bar{w}_j$	j.kriterin göreceli ağırlığı
$\bar{s}_j'$	j.kriterin değerlendirilmesi
$\bar{k}_j'$	j.kriterin katsayısı
$\bar{q}_j'$	j.kriterin bulanık ağırlığı
$\bar{w}_j'$	j.kriterin göreceli ağırlığı
$\bar{w}_j''$	j.kriterin nihai ağırlığı
$\rho$	Spearman Correlation Coefficient (Spearman Korelasyon Katsayısı)

## **Kısaltmalar**

Ar-Ge	Araştırma ve Geliştirme
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
HTEA	Hata Türü ve Etkileri Analizi
RÖS	Risk Öncelik Sayısı
GMI	Graded Mean Integration
PCC	Pearson Correlation Coefficient (Pearson Korelasyon Katsayısı)
PIPRECIA	Pivot Pairwise RElative Criteria Importance Assessment (Pivot İkili Göreceli Kriter Önem Değerlendirmesi)
SWARA	Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi)
COG	Center of Gravity (Ağırlık Merkezi)



# 1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışıyla birlikte besin ihtiyacı giderek artmakta ve bunun sonucunda doğal kaynakların ve tarımsal üretimin devamlılığının sağlanması gitgide daha da önemli bir hal almaktadır. Tarımsal sürdürülebilirlik bakımından kritik bir role sahip olan ıslah çalışmaları ile genel anlamda mevcut bitki veya hayvan türlerinin kalıtsal yapısı üzerinde değişiklikler ve iyileştirmeler yapılarak daha verimli ve yüksek kalitede ırklar elde edilmesi amaçlanmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmalar sırasındaki risklerin analiz edilerek yüksek risk teşkil eden alanların belirlenmesi çalışmaların etkinliği ve verimliliği açısından önemlidir.

Bu tez çalışmasında, tarımsal Ar-Ge (Araştırma ve Geliştirme) çalışmaları üzerine faaliyet gösteren bir kuruluştaki gerçekleştirilen buğday ve arpa ıslah çalışmaları sırasındaki olası risklerin belirlenerek yüksek risk içeren alanların tespit edilmesi için Bulanık PIPRECIA (PIVot Pairwise RElative Criteria Importance Assessment) ve HTEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi) yöntemlerinin entegrasyonundan oluşan yeni hibrit bir risk analiz modeli önerilmiş ve sonuçlar klasik HTEA yöntemi sonuçlarıyla karşılaştırılarak yeni modelin performansı değerlendirilmiştir. Çalışmanın ilk kısmında, tarım alanında yapılan risk analizi ve HTEA çalışmaları ile yeni geliştirilen bir yöntem olan PIPRECIA ve Bulanık PIPRECIA yöntemleri üzerine bir literatür araştırması yapılmış ve bu alanda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Sonraki kısımda ise, ilk olarak risk kavramı ve risk analiz yöntemleri hakkında kısaca bilgi verildikten sonra HTEA yöntemi, türleri, uygulama adımları ve yönteme ilişkin eleştiriler detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Ardından, bulanık mantık ve bulanık küme teorisi üzerine bir bilgilendirme yapılmıştır. Bir sonraki kısımda ise PIPRECIA ve Bulanık PIPRECIA yöntemleri ele alınmış, yöntemlere ait uygulama adımları ayrıntılı bir biçimde anlatılmıştır. Tarım alanında Ar-Ge projelerinin ve bitki ıslah çalışmalarının genel hatlarıyla anlatıldığı sonraki kısımda ise, bu alanda yapılan projelere ve çalışmalara yer verilmiştir. Son olarak, uygulama kısmında tarımsal Ar-Ge çalışmaları yapan bir işletmede Bulanık PIPRECIA ve HTEA entegre yaklaşımı ile bir risk analizi vaka çalışması yapılmıştır. Bu doğrultuda ilk olarak, çalışmanın kapsamını belirlemek için uzman kişilerle değerlendirmeler yapılmış ve oldukça geniş bir yelpazeye sahip olan bitki ıslah çalışmalarının buğday ve arpa ıslah çalışmaları bölümünün çalışmaya dahil edilmesi kararlaştırılmıştır. Bu

bölümdeki risklerin ele alınmasının sebebi, buğday ve arpa ıslahının kurumdaki bitki ıslah çalışmalarının önemli bir kısmını oluşturulması ve arpa ve buğdayın makarna, ekme vb. birçok işlenmiş ürünün temel ham maddesini oluşturması ve ekonomik açıdan katma değeri oldukça yüksek ürünler olmasından dolayıdır. Kapsam belirlendikten sonra, riskleri belirlemek ve değerlendirmek için arpa ve buğday ıslahçılarından oluşan 9 kişilik bir HTEA ekibi oluşturulmuş ve beyin fırtınası yapılarak süreç bazında olası hatalar tanımlanmıştır. Ardından, HTEA anket formu dağıtılarak ekip üyelerinden riskleri puanlamaları istenmiş ve klasik HTEA yaklaşımına göre risklere ait RÖS skorları bulunmuştur. Daha sonra, klasik yöntemin zayıflıklarından biri olan değerlendiriciler tarafından yapılan puanlamaların eşit derecede olduğu varsayımına farklı bir yaklaşım geliştirmek ve her bir değerlendirici ekip üyesini bilgileri ve arazi tecrübeleri ölçüsünde çalışmaya dahil etmek amacıyla ekip üyeleri birer kritermiş gibi düşünülerek yeni geliştirilen Bulanık PIPRECIA yöntemiyle üyelere birer ağırlık ataması yapılmıştır. Bu doğrultuda, 3 kişiden oluşan uzman karar verici bir ekip oluşturulmuş ve Bulanık PIPRECIA yöntemine göre HTEA ekip üyeleri değerlendirilerek ağırlıkları bulunmuştur. Daha sonra bulunan modelin geçerliliğini test etmek amacıyla Spearman ve Pearson korelasyon katsayılarına bakılmıştır. Bunun ardından, geçerliliği doğrulanan ağırlıklar ekip üyelerinin yapmış olduğu puanlamalarla çarpılmış ve tüm değerlerin geometrik ortalaması alınarak risklere ait her bir parametre için ortak bir değer elde edilerek bunların çarpımıyla da entegre modele ilişkin RÖS skorları hesaplanmış, yüksek risk barındıran alanlar belirlenmiştir. Ayrıca, modelin geçerliliğini doğrulamak için kriter ağırlıkları üzerinde değişiklik yapmak suretiyle duyarlılık analizi yapılarak modelin bu durumdan etkilenip etkilenmediği gözlenmiş, modelin gücü test edilmiştir. Son olarak, klasik HTEA ile Bulanık PIPRECIA entegreli modelin sonuçları karşılaştırılarak yeni modelin performansı değerlendirilmiş ve çalışma tamamlanmıştır.



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde tez konusuyla ilgili olarak yapılmış bazı akademik çalışmalar özetlenmiştir. İlk olarak; tarım ve gıda alanında yapılmış risk analizi ve HTEA çalışmalarına değinilmiş, daha sonra ise PIPRECIA ve Bulanık PIPRECIA konusunda yapılmış çalışmalar ele alınmıştır.

### 2.1. Risk Analizi ve HTEA

Tarım alanında, Yet ve ark. [1] yaptıkları çalışmada bir projenin maliyetlerini, etkisini ve yatırım getirisini 10 yıllık bir süre boyunca hesaplamak için belirsizlik ve risk faktörlerini de dahil eden ve hem sürekli hem de kesikli değişkenleri içeren hibrit ve dinamik bir Bayes Ağı modeli geliştirmiş ve bu modeli iki farklı alternatif tarımsal kalkınma projesi üzerinde uygulamışlardır. Tasarlanan modelle; maliyet, içerdiği belirsizlik ve oluşturacağı etki gibi faktörler bakımından birbirinden farklı özelliklere sahip bu iki proje teklifi farklı risk senaryolarına göre değerlendirilerek farklı zaman aşamalarındaki maliyet ve faydalar bulunmuştur. Gıda ve su kaynaklarının kalitesinin artırılması gibi konularda olumlu sonuçlar alındıkça ve bu sonuçlar benimsendikçe, projenin yerel toplum üzerindeki etkisinin daha fazla olacağı öngörülmektedir. Model sadece tarımsal projeler için tasarlanan bir yapı olmayıp proje uygulama koşullarına göre Bayes Ağı bileşenleri üzerinde değişiklikler yapılarak inşaat, yazılım projeleri gibi çok farklı alanlarda uygulanabilmektedir. Bu durumu örneklendirmek için projenin bütçesi, başlangıç parametreleri, risk faktörleri, iskonto oranı vb. dikkate alınarak model üzerinde değişiklikler yapılmış ve yeni model bir kimya şirketindeki süreç geliştirme projesine uyarlanarak projenin maliyeti ve faydaları hesaplanmıştır. İki farklı vakada başarılı sonuçlar elde edilmesi modelin gücünü ve farklı alanlarda uygulanabilirliğini göstermiştir.

Tatar, ve ark. [2] yaptıkları çalışmada, çay hasatı sırasında tarım işçilerinin yaşadıkları ve kas-iskelet sistemi sağlığı açısından risk oluşturabilecek unsurları analiz etmek için uyguladıkları Fine-Kinney risk analiz çalışmasında yöntem yeni bir bakış açısı kazandırmak için Küresel Bulanık AHP (Analytical Hierarchy Process - Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve Küresel Bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by

Similarity to Ideal Solution - İdeal Çözümüne Benzerlik Yoluyla Sıra Tercihi Tekniği) yöntemlerinden oluşan entegre bir risk analiz modeli tasarlamışlardır. Model kapsamında, Küresel Bulanık AHP yöntemi ile Fine-Kinney parametrelerinin ağırlıklarının belirlenirken, Küresel Bulanık TOPSIS yöntemi tehlikelerin sıralanmasında kullanılmıştır. Modelin etkinliğini ölçmek için ise, Küresel Bulanık CODAS (Combinative Distance-Based Assessment - Birleştirilebilir Uzaklık Tabanlı Değerlendirme) yöntemi ile karşılaştırma yapılmıştır. Modelin geçerliliği ise Spearman korelasyon katsayısına bakılarak test edilmiş olup iki sıralama arasındaki korelasyonun yüksek olması modelin uygulanabilir olduğu sonucunu vermiştir.

Liu ve ark. [3] çalışmalarında domates üretiminde geç yanık hastalığına karşı hassas tarım teknolojisini geleneksel yöntemlerle karşılaştırmışlar, yetiştiriciler açısından ekonomik getiriye maksimize eden ve üretim ve finansal açıdan oluşabilecek riskleri azaltan en uygun ilaçlama stratejisi modelini belirlemeyi hedeflemişlerdir. Çalışmada, saha denemeleri ve simülasyon çalışmalarına dayalı elde edilen verilerden faydalanılarak 3 ayrı ilaçlama stratejisi için birim dönüme düşen net gelir dağılımları elde edilmiştir. Alternatif stratejilerin risk öncelik sırasını belirlemek için 3 farklı yaklaşım doğrultusunda bu dağılımlar karşılaştırılmış, hastalığa karşı duyarlılık ve direnç göstermelerine göre kategorilere ayrılan her bir domates grubu için en uygun ilaçlama stratejisi belirlenmiştir.

Li ve ark. [4] yaptıkları çalışmada, k-ortalama kümeleme, küme çifti analizi ve entropi ağırlık yöntemlerine dayalı entegre bir model önerdikleri çalışmalarında, Çin'deki bir bölgede yer alan kaynak su alanlarındaki su kirliliği risklerini değerlendirmişlerdir.

En sık kullanılan risk analiz yöntemlerinden biri olan HTEA, diğer sektörlerde etkin bir şekilde kullanıldığı gibi tarım ve gıda sektörlerinde de proje yönetimi, gıda zinciri, üretim süreçlerindeki risklerin analizi gibi alanlarda kullanılabilir. HTEA uygulamasının bu alanlardaki uygulamalarına bakıldığında diğer sektörlerdeki çalışmalara göre daha sınırlı olduğu görünmekte olup bu alanda yapılan birtakım çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Sang ve ark. [5] Bulanık HTEA ve genetik algoritmadan oluşan hibrit bir model geliştirerek Sarawak'ta pirinç üretimi sırasında sağlık, güvenlik ve çevre açısından risk oluşturabilecek faktörleri ele almışlardır. Çalışma kapsamında; olasılık, şiddet ve saptanabilirlik faktörleri için onluk skalada ölçek tabloları oluşturulmuş, akabinde genetik algoritmadan faydalanılarak bu faktörlerin her biri için ayrı ayrı üyelik fonksiyonu tanımlanmış ve bu doğrultuda kurallar oluşturulmuştur. Ardından, monoton bulanık kural yeniden etiketleme prosedürü uygulanarak kurallardaki monotonluğu engelleyen gürültü vb. unsurlar giderilmiştir. Kurallara tekrardan monotonluk özelliği kazandırıldıktan sonra, süreçler alt süreçlerine ayrıştırılarak her bir hata modu için risk öncelik sayıları hesaplanmış ve kritik risk kategorisinde olanlar için düzeltici faaliyetler uygulanmıştır. Bu çalışma, HTEA ile genetik algoritmanın birlikte kullanılıp farklı bir yaklaşım geliştirilmesi açısından öncü bir çalışmadır.

Alkhalidi ve ark. [6] yapmış oldukları çalışmalarında HTEA-AHP entegre yaklaşımını kullanarak kuraklık etkilerinin azaltılması ve kuraklığa dayanıklılığı artırmaya yönelik global ölçüde etkili olacak alternatif çözüm ve stratejiler önermeyi amaçlamışlardır. Bu kapsamda, literatür araştırması yapılarak hedef kitlesi dünya çapında tanınmış kuraklık uzmanları olan iki anket çalışması düzenlenmiştir. İlk ankette, uzmanlardan 5 ana kriteri ve bu kategorilerin altında tanımlanan kuraklık sebebiyle meydana gelen problemleri önceliklendirmeleri istenmiştir. İkincide ise, kuraklığı önlemek için önerilen 5 çözüm alternatifini değerlendirmeleri talep edilmiştir. Ardından, İspanya'da gerçekleştirilen ve örnek vaka olarak sunulan çalışmada, sırasıyla ana kriterler, alt kriterler ve çözüm alternatifleri AHP yöntemi ile değerlendirilerek risk öncelikleri belirlenmiş, kuraklık etkilerini önleyici en uygun alternatif çözüm belirlenmiştir. Örnek vaka çalışmasında pek çok ülke açısından kuraklık tehdidinden en çok etkilenebilecek kriter olan hidrolojik rejim faktörünün alt kriteri olan su kıtlığı problemini önlemek için en uygun alternatif çözüm sulama yönetiminin iyileştirilmesi olarak bulunmuştur. Diğer ülkelerde yapılan çalışmaların sonuçları da yine aynı şekilde paylaşılmıştır.

Sader ve ark. [7] bir şirketteki risk yönetim ve karar alma süreçlerindeki insan müdahalesini minimize etmek, bazı gizli risk faktörlerinin ihmal edilmesinin önüne geçmek ve zaman tasarrufu sağlamak amacıyla kuruma özgü tasarlanmış, ERP

(Enterprise Resource Planning- Kurumsal Kaynak Planlaması) sistemi üzerinde tanımlı HTEA uygulama modülü üzerinde iyileştirme yaparak makine öğrenmesine dayalı otomatik bir risk yönetim ve karar mekanizması geliştirmişlerdir. Bu amaçla, makine öğrenmesi yöntemlerinden çok sınıflı sınıflandırma yöntemi kullanılarak bir sistem geliştirilmesi kararlaştırılmıştır. Oluşturulan dört modelden üçü yeni oluşacak bir arızanın olasılık, şiddet ve fark edilebilirlik metriklerinin sayısal değerini tahmin etmek için, bir model ise hatanın hangi kategoriye dahil edileceğini tahmin etmek için oluşturulmuştur. Kategoriler arızanın hangi üretim aşamasıyla ilişkili olduğunu ve kök sebebinin göstermekte olup toplam 8 adet kategori tanımlanmıştır. Tüm aşamalardan sonra ise, bazı değerlendirme yöntemleriyle modellerin doğruluğu ve güvenilirliği test edilmiştir.

Zandi ve ark. [8] tarafından yapılan çalışmada, farklı iklim bölgelerindeki 5 tarımsal projenin yatırım risklerini analiz etmek ve bir tarımsal risk yönetim stratejisi geliştirmek amacıyla geleneksel HTEA yönteminin yanı sıra Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS'ten oluşan bütünleşik bir model önerilmiştir. Çalışmada, yapısal ve operasyonel olmak üzere 2 grupta sınıflandırılan 10 risk bileşeni tanımlanmıştır. Uygulama sırasında, klasik yaklaşımdan farklı olarak şiddet metriği maliyet, zaman ve kalite açısından şiddet olarak kategorilere ayrılmış ve hesaplamalar olasılık, saptanabilirlik ve 3 farklı şiddet faktörü olmak üzere toplam 5 faktör dikkate alınarak yapılmıştır. Faktörlerin önem derecesi eşit olmayıp, proje faktör ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla Bulanık AHP yöntemi uygulanmış ve her projeden üçer kişilik üç grubun değerlendirmeleri doğrultusunda ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. Risklerin önem sıralaması ise Bulanık TOPSIS yöntemiyle belirlenmiştir. Faktörlerin önem ağırlıkları değiştirilerek yapılan duyarlılık analiz sonuçları geliştirilen hibrit yaklaşımın klasik HTEA yöntemindeki subjektif yaklaşıma ve faktörlerin önem ağırlıklarının eşit kabul edilmesi problemine çözüm getirmedeki başarısını doğrulamıştır.

Jong ve ark. [9] Malezya'nın Sarawak kentindeki endüstriyel anlamda önemli bir ekonomik değere sahip olan EBN (Yenilebilir Kuş Yuvası) üretim tesislerindeki potansiyel riskleri analiz ederek resmi olarak kullanılmak üzere Bulanık HTEA tabanlı bir kalite ve risk değerlendirme aracı tasarlamışlardır. Çalışmada toplam 46 adet risk unsuru tespit edilmiş olup her bir risk unsuru için hesaplamalar hem klasik RÖS hem de

Bulanık RÖS skoru bulunarak yapılmış ve gerekli görünenler için düzeltici eylemler uygulanarak risk skorları düşürülmeye çalışılmıştır. Sonuçlar, Bulanık HTEA yönteminin klasik yönteme göre daha doğru ve güvenilir olduğunu doğrulamıştır. Bu çalışma, tarım ve gıda alanında yapılmış yeni bir uygulama olup EBN üretim süreçlerindeki riskleri analiz etmek için ilk kez Bulanık HTEA tabanlı bir risk analiz modeli geliştirilmiştir.

Endonezya'da tavuk eti tüketiminin artış göstermesi ve buna bağlı olarak tavukçuluk sektörünün önem kazanmasıyla birlikte, kümes hayvanı yem ürünlerine olan talep artmıştır. Dolayısıyla, yoğun talebi karşılamak, gecikmeleri önlemek ve üretim verimliliğini artırmak amacıyla üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve süreci kesintiye uğratan hata modlarının tanımlanıp bunların en aza indirilmesi kanatlı hayvan yemi üreticileri için öncelikli hale gelmiştir. Wessiani ve Sarwoko [10] tarafından yapılan çalışmada, üretim sürecindeki operasyonları yavaşlatan arızaların tespit edilmesi için Bulanık HTEA yönteminden faydalanılmış olup analiz sonucunda toplam 89 adet risk unsuru tespit edilmiştir. Bu risklerden 38 tanesi düzeltici eylem gerektiren risk kategorisinde sınıflandırılmış ve bu hata modları için riskin olasılığını ve etkisini düşürme, riski kabul etme, riski devretme, riskten kaçınma gibi riski minimize edici yöntemler önerilmiştir.

Durmuş ve ark. [11] Rize'de bulunan bir çay fabrikasında yaptıkları çalışmada, sırasıyla Fine Kinney ve HTEA risk değerlendirme yöntemlerini uygulamışlardır. Çalışma kapsamında öncelikle, Fine Kinney yöntemi uygulanarak üretim tesisi genelinde toplam 47 adet tehlike ve 43 adet risk tanımlanmış, ardından risk öncelikli alanlar ve alınması gereken önlemler tespit edilmiştir. Çalışmanın diğer aşamasında ise, bu tehlikeler ayrıştırılarak sektörden bağımsız olarak tüm işletmelerde yaşanabilecek 6 tehlike belirlenmiştir. Daha sonra, bu tehlikelere sebep olabileceği düşünülen 40 adet hata HTEA yöntemiyle analiz edilerek risk öncelik sıralaması bulunmuş ve alınacak kontrol önlemlerine karar verilmiştir.

Arvanitoyannis ve Varzakas [12] tarafından yapılan çalışmada, somon işleme ve paketleme sürecinde HTEA yönteminin bir uygulaması yapılarak yöntemin ISO 22000 ile somon endüstrisine geçici bir uyarlaması yapılmış ve gıda güvenliğinin sağlanmasında

bir risk yönetim aracı olarak kullanılan HACCP (Hazard Analysis Critical Control Points- Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktaları) ile sonuçlar karşılaştırılarak HTEA çalışmasının geçerliliği ve güvenilirliği kontrol edilmiştir. HACCP uygulaması kapsamında, süreçlerdeki tehlikeler tanımlanmış, üretim sürecindeki CCP'leri (Critical Control Points – Kritik Kontrol Noktaları) bulmak için ağaç diyagramından faydalanılarak toplam 7 adet CCP belirlenmiştir. Ardından, bu noktaların her biri için kritik limitler ve düzeltici faaliyetler tanımlanmıştır. HTEA uygulaması kapsamında ise, CCP olarak tanımlanan süreçlerdeki her bir tehlike unsuru için RÖS değerleri hesaplanmış, RÖS değeri yüksek olanlar için düzeltici eylemler uygulanmış ve risklerin kabul edilebilir düzeye inip inmediği gözlenmiştir. Ayrıca Ishikawa diyagramı ile her bir CCP için muhtemel hata sebepleri analiz edilmiştir. Sonuçlar, HTEA yönteminin geçerliliğini desteklemiş ve sisteme dahil edilmesinin avantajlı olacağını ortaya koymuştur.

Septifani ve ark. [13] pirinç tohumu tedarik zincir akışını iyileştirmek amacıyla akışı aksatabilecek olası riskleri hem üretici hem de çiftçi seviyesinden analiz etmişlerdir. Üretici ve çiftçi grubundan 2'şer kişi olmak üzere toplam 4 katılımcıyla gerçekleştirilen çalışmada, 7 adet üretici açısından ve 7 adet de çiftçi açısından olmak üzere 14 adet risk unsuru belirlenmiş, belirlenen riskler Bulanık HTEA ile analiz edilerek her iki seviyeden risk öncelikleri belirlenmiştir. Daha sonra, yine iki grubun görüşleri doğrultusunda söz konusu riskleri minimize etmek için uygulanabilecek stratejiler belirlenmiş, kritik düzeydeki risklerin %80'i Bulanık AHP yöntemi ile analiz edilerek her bir riske uygulanabilecek risk azaltma stratejileri için bir öncelik sıralaması elde edilmiştir.

## **2.2. PIPRECIA**

PIPRECIA, ilk olarak Stanujkic ve ark. [14] tarafından Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemlerinde kullanılmak üzere önerilen bir yöntemdir. Yeni geliştirilen PIPRECIA yönteminin kullanıldığı ilk akademik çalışmada [14], öncelikle yöntemin uygulama adımları ayrıntılı bir biçimde ele alınarak yöntem tanıtılmış, ardından benzerlik gösterdiği SWARA (Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis- Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oran Analizi) ile karşılaştırma yapılarak yöntemin farklılıklarından ve üstünlüklerinden bahsedilmiştir. Daha sonra ise, personel seçimi konusunun ele alındığı

örnek vaka çalışması üzerinde yöntemin pratik uygulaması yapılmış olup problem hem PIPRECIA hem de SWARA yöntemi ile ayrı ayrı çözümlenerek karşılaştırma sonuçları sunulmuştur. Ele alınan vakada, insan kaynakları yöneticilerinden oluşan 3 kişilik bir ekibin görüşleri dikkat alınarak karar üzerinde etkili 6 kriter belirlenmiş ve her bir kriter için önem ağırlığı bulunmuştur. Ayrıca, yöntemin doğruluğunu test etmek için PIPRECIA ve SWARA yöntemi uygulama sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, PIPRECIA ve SWARA yöntemiyle hesaplanan ağırlıkların yaklaşık değerler olması yöntemin uygulanabilirliğini doğrulamıştır.

Toshniwal ve ark. [15] yaptıkları çalışmada, Endüstri 4.0'ın ilaç sektöründe benimsenmesi açısından hangi teknoloji benimseme (TA) modelinin kullanılmasının daha etkili olacağına karar vermek için PIPRECIA ve Bulanık MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking According to Compromise Solution - Uzlaşık Çözümüne Göre Alternatifleri Değerlendirme ve Sıralama) yöntemlerinden oluşan hibrit bir ÇKKV modeli kullanmışlardır. Bu kapsamda, 6 alternatif TA modeli ilaç sektöründe tecrübeli 3 karar vericinin görüşü doğrultusunda 7 kriter bakımından değerlendirilerek en uygun model belirlenmiştir. Kriterlere önem ağırlığı atamada PIPRECIA, sıralamanın elde edilmesinde ise Bulanık MARCOS yöntemi kullanılmıştır.

Jocic ve ark. [16] uzaktan eğitim modelinin yaygınlaşmasıyla birlikte giderek önem kazanan e-öğrenme kurs seçimi konusunu ele aldıkları çalışmalarında, alternatifler arasından kriterlere en uygun kursu seçmek için PIPRECIA ve Aralık Değerli Üçgensel Bulanık ARAS (Additive Ratio Assessment - Toplamsal Oran Değerlendirmesi) yöntemlerinden oluşan hibrit bir ÇKKV modeli tasarlamışlardır. Çalışmada 24 kişinin katılımıyla Likert Ölçeği tekniği kullanılarak toplanan anket verilerinin PIPRECIA yöntemi kullanılarak analiz edilmesi sonucu kriterlerin önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Daha sonra ise Aralık Değerli Üçgensel Bulanık ARAS yöntemi ile alternatifler performanslarına göre sıralanmış ve en uygun kurs belirlenmiştir.

Ulutas ve ark. [17] tarafından bir tekstil fabrikasında üretim müdürü seçimi için yapılan çalışmada, iş başvurusunda ilk aşamayı geçen ve bir hafta deneme süresine tabi tutulan 5 aday arasından en uygunu seçmek amacıyla 3 kişilik karar verici bir ekip tarafından

belirlenen 7 kriter doğrultusunda değerlendirme yapılmıştır. Uygulama kapsamında; kriter ağırlıklarının hesaplanmasında Gri PIPRECIA, alternatiflerin sıralamasının bulunmasında ise Gri OCRA (Operational Competitiveness Rating - Operasyonel Rekabet Derecelendirmesi) yönteminin kullanıldığı bütünleşik bir model kullanılmıştır.

Ozdoglu ve ark. [18] şehirlerarası otobüs seçimine yönelik yaptıkları çalışmada, daha önce hiç bir arada kullanılmamış olan PIPRECIA ve Gri COPRAS (COPRAS-G) yöntemlerini kombine ederek entegre bir model geliştirmişler ve iki farklı paydaşın bakış açısıyla problemi ele almışlardır. Otobüs şoförleri ve otobüs sahipleri olmak üzere ikişer kişilik iki farklı paydaş grubun yer aldığı uygulamada, karayolu taşımacılığı sektöründe faaliyet gösteren ve verilere göre 2020 ayının ilk ayında en fazla otobüs satışı rakamına sahip olan üç otobüs markası değerlendirilerek karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Uzman karar vericiler 10 yılı aşkın sektör deneyimine sahip kişiler arasından seçilmiş olup, bu uzman kişilerin görüşleriyle 10 kriter belirlenmiştir. Kriter ağırlıkları, grup karar vermede başarılı ve güncel bir yöntem olan PIPRECIA ile hesaplanmıştır. Bazı kriter için ölçüm birimi aralık şeklinde ifade edildiğinden dolayı otobüs marka sıralamalarının bulunmasında ise gri uzantılı bir metot olan COPRAS-G kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; iki grup için kriter önem ağırlıkları birbirinden farklılık göstermesine rağmen, marka sıralamalarının aynı olduğu görülmüştür.

You ve ark. [19] sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi kapsamında yaptıkları çalışmada alternatifler arasından en iyi yeşil performans gösteren tedarikçiyi seçmek ve optimum sipariş tahsisini belirleyen bir model tasarlamak amacıyla PIPRECIA, DFT (Decision Field Theory - Karar Alanı Teorisi) ve dört amaçlı bir doğrusal programlamadan oluşan hibrit model önermişlerdir. Tereddütlü ve karmaşık değerlendirme bilgilerinin doğru ve gerçekçi bir şekilde ifade edilebilmesi için çift hiyerarşili dilbilimsel terim kümeleri kullanılmıştır. PIPRECIA kriterlerin önem ağırlıklarını bulmada, DFT tedarikçi alternatiflerinin performans sıralamasını tespit etmede, çok amaçlı doğrusal programlama ise miktar indirimini göz önünde bulundurarak seçilen tedarikçilere verilecek optimum sipariş miktarını hesaplamada kullanılmıştır. Son olarak, bir elektronik üretim şirketinde vaka çalışması yapılarak geliştirilen modelin performansı değerlendirilmiş ve üç ayrı



sıralama yönteminin sonuçlarıyla karşılaştırma yapılarak modelin geçerliliği doğrulanmıştır.

Puska ve ark. [20] sürdürülebilir tarımsal üretim kapsamında 6 alternatif arasından en uygun sürdürülebilir tedarikçiyi (SSS) seçmek amacıyla Aralık Değerli Bulanık MABAC (Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison - Çok Nitelikli Sınır Yakınlık Alanı Karşılaştırması) ve Aralık Değerli Bulanık PIPRECIA yöntemlerinin entegrasyonundan oluşan aralıklı bulanık mantık tabanlı bir model önermişlerdir. Aralık Değerli Bulanık PIPRECIA yöntemi kriter ve alt kriterlerin ağırlıklandırılmasında kullanılırken, alternatiflerin sürdürülebilirlik kriterlerini sağlaması bakımından sıralamasının bulunmasında ise Aralık Değerli Bulanık MABAC yönteminden faydalanılmıştır. Son olarak, modelin doğrulanması amacıyla problem 4 ayrı sıralama yöntemi ile çözülerek sonuçlar model sonuçlarıyla karşılaştırılmış, alt kriter ağırlıklarındaki değişimlerin modele etkisini test etmek için ise duyarlılık analizi yapılmıştır. Karşılaştırma sonuçları modelin geçerli olduğunu göstermiştir.

Biswas ve Pamucar [21] Hindistan'da B-Okulu yer seçimi kararını etkileyen kriterleri değerlendirmek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada, 7 adet SC (öğrenci rehber öğretmeni) ve 3 adet EE (eğitimci/yönetici) uzman karar vericinin görüşleri doğrultusunda belirlenen 12 kriteri analiz etmişlerdir. Bu amaçla, SC panelindeki kişilerin katılımıyla LBWA (Level Based Weight Assessment – Seviyeye Dayalı Ağırlık Değerlendirmesi) yöntem adımları uygulanarak kriter öncelik sırasının, AC panelindekilerin PIPRECIA yöntemiyle yapmış olduğu değerlendirmeler sonucunda ise kriterlerin göreceli önem ağırlıklarının hesaplandığı bütünleşik bir model önerilmiştir. Son olarak, iki panelin değerlendirme sonuçları kombine edilerek kriterlerin nihai ağırlıkları elde edilmiştir. LBWA için Kendall uyum katsayısı, PIPRECIA için ise Spearman korelasyon katsayısına bakılarak tutarlılık kontrol edilmiştir. Ayrıca, LBWA yöntemi uygulama sonuçları elde edildikten sonra duyarlılık analizi yapılarak yöntemin güvenilirliği test edilmiştir.

### 2.3. Bulanık PIPRECIA

Stevic ve ark. [22] 2018 yılında, yöntemin uygulama alanını genişletmek, subjektifliği ve belirsiz ifadeleri azaltmak ve daha esnek bir karar mekanizması geliştirmek amacıyla PIPRECIA yöntemine bulanık kümeleri de dahil ederek Bulanık PIPRECIA yöntemini literatüre kazandırmışlardır.

Yöntem ilk olarak [22] SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats - Güçlü yönler, Zayıf yönler, Fırsatlar ve Tehditler) analizi ile entegre edilerek kağıt üretimi yapan bir şirkette depo barkod teknolojisinin uygulama şartlarının incelenmesi amacıyla kullanılmıştır. Öncelikle SWOT analizi yapılarak barkod teknoloji için güçlü ve zayıf yönler ile fırsat ve tehditler tespit edilmiş, akabinde yeni geliştirilen bulanık ölçütler dikkate alınarak bu dört faktörün her biri için global ağırlıklar ve bu faktörlerin her bir elementi için de lokal ağırlıklar belirlenmiştir. 27 element için global ağırlık değerleri ise ona karşılık gelen faktörün global ağırlığı ile elementin yerel ağırlığı çarpılarak elde edilmiştir. Son olarak, Spearman ve Pearson korelasyon katsayılarına bakılarak yöntemin tutarlılığı test edilmiştir.

Bulanık PIPRECIA literatürde yeni olmasına rağmen, tanıtıldığı ilk günden beri yöntemin tek başına veya başka yöntemlerle entegre edilerek kullanıldığı farklı alanlardaki başarılı birçok uygulamalarına rastlanmaktadır.

Dalic ve ark. [23] tarafından yapılan bir çalışmada, yeşil tedarikçi seçimi için önerilen metodoloji, Bulanık PIPRECIA ve Aralık Kaba SAW (Simple Additive Weighting - Basit Toplamsal Ağırlıklandırma Yöntemi) yöntemlerini içeren entegre bir yaklaşıma dayanmaktadır. Bu vaka çalışmasında, Bulanık PIPRECIA yöntemi çevresel imaj, geri dönüşüm, kirlilik kontrolü, çevre yönetim sistemi, çevre dostu ürünler üretme, kaynak tüketimi ve yeşil yetkinlikler kriterleri olmak üzere belirlenen yedi kriterin tedarikçi seçimindeki önem derecesini belirlemede, Aralık Kaba SAW Metodu ise, dört tedarikçi alternatifinin performans sıralamasının bulunmasında dikkate alınmıştır. Sadece kesin değerler kullanıldığında, çözümün birer parçası olan belirsizliği ve nesnelliği de göz önünde bulunduran kesin sonuçlara ulaşmak hemen hemen imkansız kabul edildiğinden

çevresel kriterlere göre Aralık Kaba SAW yöntemi uygulanmış ve elde edilen sonuçlara göre kriterlere en uygun alternatif dört numaralı tedarikçi olarak bulunmuştur.

Dalic ve ark. [24] tarafından yapılan çalışmada, lojistik performanslarını iyileştirmek için düşünülen rekabet analizi için SWOT analizi ve Bulanık PIPRECIA yönteminin entegrasyonundan oluşan bir model tasarlanmıştır. Çalışmanın odak noktası, şirketin mevcut durumuna dair genel bir bakış elde etmek için kapsamlı bir analiz yapmak, düzeltici önlemler alınmasını sağlamak ve gelecekteki operasyonlar için stratejik bir yol haritası belirlemektir. Öncelikle, şirketin mevcut durumu analiz edilerek SWOT matrisinin elementlerini oluşturan şirketin güçlü ve zayıf yönleri ile fırsat ve tehditlerin ne olduğuyla ilgili veri toplanmıştır. Daha sonra ise, SWOT matrisinin her bir bileşeninin birbirine göre önceliklerini belirlemek amacıyla Bulanık PIPRECIA yöntemi kullanılmış ve elementler önem derecesine göre sıralanmıştır. Sonuçlara göre, şirketin daha çok güçlü yanlarına ağırlık vermesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Bir şirket yeni erişim istifleyicileri temin etme sürecinde, seçim üzerinde etkili olan kriterleri belirlemek istemektedir. Bu probleme çözüm getirmek amacıyla, Veskovic ve ark. [25] tarafından gerçekleştirilen ve 15 kişiden oluşan karar verici bir ekibin yer aldığı çalışmada, her birinin altında eşit sayıda alt kriter olacak şekilde ekonomik, teknolojik ve teknik kriterler olmak üzere 3 ana grupta toplam 15 kriter tanımlanmış ve bu kriterlerin ve alt kriterlerin ağırlıklarını bulmak için Bulanık PIPRECIA yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, erişim istifleyicisi seçimi üzerinde en fazla önem ağırlığına sahip ana kriterin teknolojik kriterler olduğunu göstermiştir. Seçim konusunda dikkate alınması gereken en önemli alt kriter ise teknolojik kriterler grubu içerisinde değerlendirilen manipülatif yetenekler kriteridir.

Stankovic ve ark. [26] tarafından ana yol ağının bir kesitindeki yolların ele alındığı çalışmada, trafik riski açısından önemli olduğu düşünülen 6 kriter doğrultusunda 38 yol alternatifinin risk düzeylerine göre analiz edilmesi hedeflenmiştir. Bu vaka için, kriterlerin önem ağırlıklarının bulunmasında Bulanık PIPRECIA, yol alternatiflerinin sıralanmasında ise Bulanık MARCOS yönteminin kullanıldığı entegre bir model önerilmiştir. Sonuçların doğruluğunu test etmek için ise ilk olarak, trafik riski açısından

en fazla etkiye sahip olan model girdi parametrelerinin değerleri değiştirilerek alternatiflerin sıralamasında herhangi bir değişiklik olup olmadığı gözlenmiştir. Daha sonra senaryolar oluşturularak her bir senaryoda en az öneme sahip alternatif dahil edilemeyecek şekilde bir değerlendirme yapılarak dinamik ölçüt etkileri test edilmiştir. Son olarak, Bulanık MARCOS yerine iki farklı bulanık yaklaşım kullanılarak alternatif sıralamaları bulunmuş ve sonuçlar orijinal modelin sıralama sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Blagojevic ve ark. [27] tarafından yapılan araştırmada, 9 adet alternatif demiryolu kesiti demiryolu trafik güvenliği açısından 11 kriter doğrultusunda değerlendirilmiştir. Fayda sağladığından dolayı girdi olarak gruplandırılan 6 kriterin ağırlık hesaplamasında objektif bir yöntem olan Entrophy yöntemi, maliyete yol açan ve çıktı olarak sınıflandırılan 5 kriterin önem skorunu bulmak için ise sübjektif bir yöntem olan Bulanık PIPRECIA yöntemine başvurulmuştur. Ağırlıkların belirlenmesinin ardından, alternatif sıralamasını elde etmek için DEA (Data Envelopment Analysis - Veri Zarflama Analizi) yöntem adımlarının uygulanmış ve bu aşamada 2 demiryolu kesitinin DEA değerleri çok yüksek çıktığından dolayı kapsamdan çıkartılmış, geri kalan 7 demiryolu kesiti için ağırlıklı genel verimlilik sıralaması yöntemi uygulanarak nihai performans sıralaması elde edilmiştir. Sonuçların geçerliliğinin test edilmesi ise, en fazla öneme sahip 5 kriterin ağırlıklarının değiştirilerek modelin duyarlılığının izlenmesi ve problemin iki farklı ÇKKV yöntemi ile çözülerek sonuçların karşılaştırılması olmak üzere iki kısımda yapılmıştır. Çıkan sonuçlar modelin kararlılığını ve geçerliliğini doğrulamaktadır.

Bakir ve ark. [28] tarafından literatürde az çalışılmış ve işletmeciler açısından önemli risk unsurları içeren yatırım kararlarından biri olan bölgesel havayollarında en uygun uçak seçimi için yapılan çalışmada, 6 bölgesel uçağın performansı 5 kişilik uzman karar verici ekip tarafından Bulanık PIPRECIA ve Bulanık MARCOS hibrit yaklaşımı ile değerlendirilmiştir. Çalışmada, toplam 14 kriter tanımlanmış ve bunlar ekonomik etki, yolcu algısı, ekonomik performans ve teknik performans olmak üzere 4 ana grupta toplanmıştır. Performans kriter ağırlıklarının hesaplanmasında Bulanık PIPRECIA, bölgesel uçakların performanslarına göre sıralamalarının bulunmasında ise Bulanık MARCOS yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmanın son kısmı ise, girdi parametrelerinin ağırlıklarındaki değişimlere modelin duyarlılığının ölçümü, başka yöntemlerle sonuçların

karşılaştırılması ve sıralamanın tersine dönme riskinin ölçümü olmak üzere 3 aşamadan oluşan bir duyarlılık analizini içermektedir. Sonuçlar, modelin sağlamlığını ve geçerliliğini doğrulamıştır.

Blagojevic ve ark. [29] Bosna Hersek'teki bir demiryolu kesit örneğini inceledikleri çalışmalarında, trafik denetim ve kontrolü açısından hemzemin geçitlerdeki öncelikli sahaları tespit etmeye çalışmışlar ve bu amaçla özgün bütünleşik bir model önermişlerdir. Çalışma kapsamında 3 ana başlıkta ve hiyerarşik bakımdan her bir grupta 5 kriter olacak şekilde 15 kriter belirlenmiştir. Ana kriterler önem ağırlıklarının belirlenmesinde Bulanık FUCOM (Full Consistency Method - Tam Tutarlılık Yöntemi), alt kriter ağırlıklarının bulunması için Bulanık PIPRECIA yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra, alt kriter ağırlıkları ile ana kriterlerin nihai ağırlıkları çarpılarak her bir alt kriterin nihai ağırlığı hesaplanmıştır. Bulunan nihai kriter ağırlıklarına dayanarak, 8 adet hemzemin geçit alternatifinin önceliklerine göre sıralanmasında ise Bulanık MARCOS yöntemine başvurulmuştur. Son olarak, sırasıyla matrisin sıralama boyutunun değiştirilmesi, üç farklı bulanık yaklaşımla hesaplamalar yapılarak karşılaştırma analizi yapılması, en önemli üç kriterin önem ağırlıklarının azaltılması ve Spearman korelasyon katsayısının hesaplanması adımlarını içeren dört aşamalı bir duyarlılık analizi yapılmış ve sonuçların doğruluğu test edilmiştir.

Arman ve Kundakcı [30] bankacılık sektöründe henüz yeni bir uygulama olan blok zincir teknolojisinin benimsenmesinde önem taşıyan kriterleri değerlendirme amacıyla yaptıkları çalışmalarında, 7 kriterin önem derecesini belirlemek için Bulanık PIPRECIA yöntemini kullanmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre, en fazla önem derecesine sahip kriter yüksek güvenlik olarak bulunmuştur.

Arman ve ark. [31] 17 işletmenin 2016 - 2020 yılları arasındaki 5 yıllık finansal verilerini dikkate alarak yaptıkları çalışmada, Bulanık PIPRECIA ve MARCOS metotlarından oluşan entegre bir yapı tasarlayarak işletmelerin performanslarını finansal bakımdan incelemişlerdir. Çalışmada, 4 ana başlıkta 12 alt kriter tanımlanmış ve Bulanık PIPRECIA yönteminden faydalanılarak her bir ana kriter ve alt kriter için önem ağırlıkları bulunmuştur. Ardından, MARCOS yönteminin işlem adımları uygulanarak işletmelerin

5 yıllık finansal performans sıralamaları elde edilmiş, performans sıralamalarındaki yıllık sapmalar değerlendirilmiştir. Son olarak, sıralamalar dikkate alınarak yüksek performans gösterenler ilk portföye, düşük performanslılar ise diğerine dahil edilecek şekilde 2 farklı portföy oluşturulmuş, akabinde farklı performans ölçüm kriterleri uygulanarak portföylerin yıllık performans karşılaştırmaları yapılmıştır.

Kundakcı [32] çalışmasında, Bulanık PIPRECIA ve Bulanık MOORA (Multi Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis – Oran Analizi ile Çok Amaçlı Optimizasyon Yöntemi) entegrasyonundan oluşan bir metod kullanarak bir üretim şirketinin bakım yönetim sistemi için en iyi stratejiyi belirlemeyi amaçlamıştır. Bunun için; karar vericilerin görüşleri doğrultusunda, alternatif olarak 4 farklı bakım stratejisi ve bu alternatifleri değerlendirmek üzere 8 kriter belirlenmiştir. Bulanık PIPRECIA yöntem adımları izlenerek her bir kriter için önem ağırlığı bulunmuş ve sonuçların geçerliliği Spearman ve Pearson korelasyon katsayıları ile test edilmiştir. Validasyon aşamasından sonra ise, en iyi seçimi yapmak için Bulanık MOORA yöntemiyle alternatiflerin önem sırası bulunmuştur. Bu çalışma, bakım stratejisi seçim problemi için Bulanık PIPRECIA ve Bulanık MOORA metodlarının bir arada kullanıldığı ilk çalışma olarak literatüre geçmektedir.

Yenilmez ve Ertuğrul [33] bir üretim işletmesinde mavi yakalı personel seçimi için yapmış oldukları çalışmalarında, Bulanık PIPRECIA tabanlı Bulanık COPRAS yöntemini kullanarak en uygun adaya karar vermeye çalışmışlardır. Bunun için 3 kişilik karar verici bir ekip oluşturulmuş ve 6 adet değerlendirme kriteri belirlenmiştir. Belirlenen kriterler muğlak özellikte ve bunları numerik olarak ifade etmek güç olduğundan, dilsel değişkenler kullanılmış ve kriter ağırlıklarını belirlemede Bulanık PIPRECIA yöntemine başvurulmuştur. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinin ardından, Bulanık COPRAS yöntemiyle 5 aday bu kriterler dikkate alınarak pozisyona uygunlukları bakımından sıralanmış ve en uygun aday seçilmiştir.

Puska ve ark. [34] temel hedefi tarımsal turizm tekliflerinin değerlendirilmesi olan ve tarımsal turizm rekabet üstünlüğü sağlamada hangi kriterlerin ön plana çıktığı ve iyileştirme alanlarının belirlenmesi konularında işletmelere rehberlik etme niteliği taşıyan

çalışmalarında, ekonomik, kültürel ve sosyal olmak üzere 3 ana kriter ve bunların altında yer alan 18 alt kriter doğrultusunda 6 alternatif tarım turizm tesisini değerlendirmişlerdir. Tasarlanan hibrit modelde, kriterlerin tarımsal turizm açısından önem ağırlıklarını belirlemek için Bulanık PIPRECIA, alternatifler arasından en uygun tarım turizm tesisini seçmek için ise Bulanık MARCOS yöntemi kullanılmıştır. Çalışma sonunda yapılan duyarlılık analizi model sonuçlarının doğruluğunu göstermiştir.

Vikas ve Mishra [35] yaptıkları çalışmada, endüstrilerdeki verimliliğin etkin bir şekilde sağlanması açısından oldukça faydalı bir yaklaşım olan TPM (Toplam Üretken Bakım) metodolojisinin benimsenmesini etkileyen ana etmenleri ve bunların alt etmenlerinin karar vermedeki etkisini incelemek için Bulanık PIPRECIA yönteminden faydalanmışlardır. Bu doğrultuda, öncelikle 24 kriter belirlenerek bu kriterler konusuna göre 5 ayrı kategoride sınıflandırılmıştır, ardından yöntem adımları uygulanarak ana ve alt kriterler için ağırlıklar belirlenmiştir.

Literatürde bu çalışmaya en yakın çalışma olduğu tespit edilen ve Attri ve Mishra [36] tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise motor montaj sürecindeki hata modlarını önceliklendirmek için Bulanık PIPRECIA ve Bulanık EDAS (Evaluation Based on Distance From Average Solution - Ortalama Çözümüne Uzaklığa Göre Değerlendirme) hibrit yaklaşımı uygulanmıştır.

Görüldüğü gibi, seçim kriterlerinin çoğu zaman karmaşık ve belirsiz özellikte olması, değerlendirme yapılırken kesin ifadeler kullanılması çoğu zaman zor olması, sayısal ifadeler yerine dilsel değişkenlerden faydalanmanın insan düşünce yapısına daha yakın olması ve daha esnek bir şekilde karar verebilmeyi sağlaması sebebiyle, Bulanık PIPRECIA yöntemi PIPRECIA yöntemine göre daha fazla kullanılmıştır. Bu gibi nedenlerden ötürü, bu tez çalışmasında da yine klasik yaklaşım yerine Bulanık PIPRECIA yöntemi tercih edilmiştir. Literatüre bakıldığında, tarım alanında yapılmış Bulanık PIPRECIA ve HTEA çalışmaları sınırlı olmakla birlikte, Bulanık PIPRECIA ile HTEA yöntemini birlikte kullanan yalnızca bir çalışmaya rastlanmış, tarım alanında ise böyle bir çalışma yapılmadığı görülmüştür. Bu anlamda da çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

### 3. RİSK KAVRAMI VE HTEA

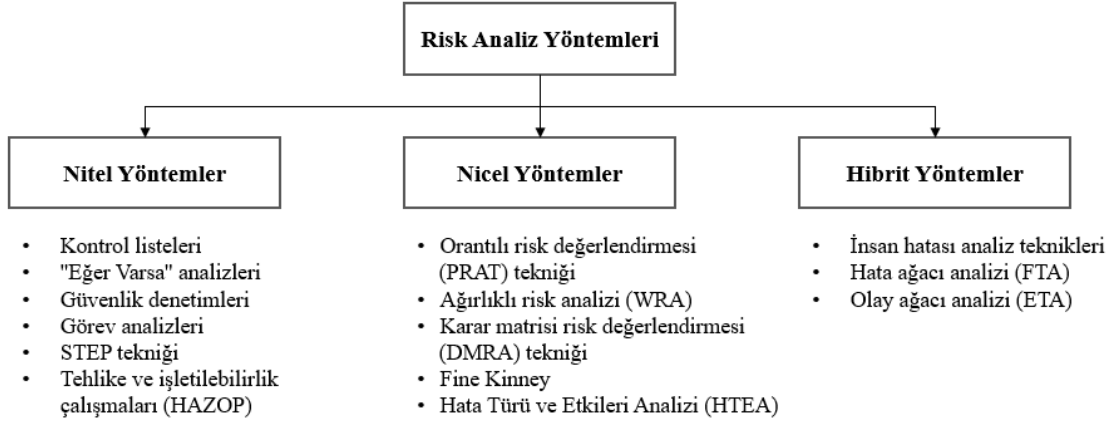
Risk kavramı; tehlikeden kaynaklanan ve başarılı sonuçlara, planlanan hedeflere ulaşılmasını etkileyen kayıp, yaralanma veya diğer olumsuzlukların gerçekleşme ihtimalidir [37]. Risk analizi ise; mevcut veya potansiyel risklerin tanımlanmasına, nicel ve nitel değerlerinin bulunmasına, önceliklendirilmesine ve bu risklerin ürün veya süreç üzerindeki olası etkilerinin araştırılmasına dayanan bir yöntemdir [38]. Riskler dinamik yapıda olup her an yeni risklerin ortaya çıkma olasılığı bulunmaktadır. Dolayısıyla, risk analiz çalışmalarının belirli periyotlarla yenilenmesi gerekebilir [39].

Akademik çalışmalarda kullanılan risk analiz yöntemleri nitel, nicel ve hibrit olmak üzere üç grupta incelenmekte olup bu yöntemlerden bazıları aşağıda örneklendirilmiştir [40, 41].

- Kontrol Listeleri
- Birincil Risk Analizi (PRA)
- "Eğer Varsa" Analizleri
- STEP Tekniği
- Güvenlik Denetimi
- Görev Analizleri
- Hata Ağacı Analizi (FTA)
- Olay Ağacı Analizi (ETA)
- Fine Kinney Yöntemi
- Tehlike ve İşletilebilme Çalışması (HAZOP)
- L Tipi Matris
- Karar Matrisi Risk Değerlendirme (DMRA) Tekniği
- Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) vb.

Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi, risk analiz yöntemleri nitel, nicel ve hibrit yöntemler olarak üç grupta sınıflandırılmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan ve nicel bir risk analiz yöntemi olan HTEA yönteminde risklerin analizi ve önceliklendirilmesinde sayısal verilerden faydalanılmaktadır.





Şekil 3.1. Risk Analiz Yöntemleri [41]

### 3.1. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA)

Globalleşme ve gelişen teknoloji ile birlikte, işletmelerin devamlılıklarını sürdürmek, pazardaki yerlerini koruyabilmek ve rekabet üstünlüğü sağlayabilmek adına sundukları üretim, hizmet veya operasyonları kesintiye uğratabilecek ve iş gücü, para ve zaman kaybına sebep olabilecek risklerin farkında olmaları; bu riskleri yönetmek için bir yol haritası ve sistematik bir risk analiz modeli geliştirmeleri gerekir. Riskleri tespit etmek, önceliklendirmek ve bunlara karşı önlem almak için geliştirilen analiz yöntemlerinden biri de HTEA'dır.

HTEA, bir sistem /süreç / ürün veya hizmetteki potansiyel arızaları tespit etmeyi, etkilerini ve sebeplerini analiz etmeyi, ileriye dönük önlemler almayı ve bir risk yönetim modeli oluşturmayı hedefleyen analitik ve sistematik bir risk analiz aracıdır [42]. HTEA, kalite ve güvenilirliğin sağlanması bakımından sistem fonksiyonlarının etkin bir şekilde gerçekleştirilmesini etkileyen olumsuzlukların, hataların tanımlanması için kullanılan bir güvenilirlik analiz aracı olarak da tanımlanabilir [43]. HTEA yönteminde, bir süreç veya üründe nasıl olumsuzluklar yaşanabilir, bunun etkileri ne olabilir, bu olumsuzluğa yol açan sebepler neler olabilir sorularına cevap aranır [44].

HTEA, ilk kez İkinci Dünya Savaşı zamanlarında Amerikan ordusundaki kullanımıyla birlikte gündeme gelmiş bir yöntem olup; yönteme ilişkin ilk prosedür olan MIL-P-1629 (Military Procedure) kodlu askeri talimat, "Procedures for Performing a Failure Mode,

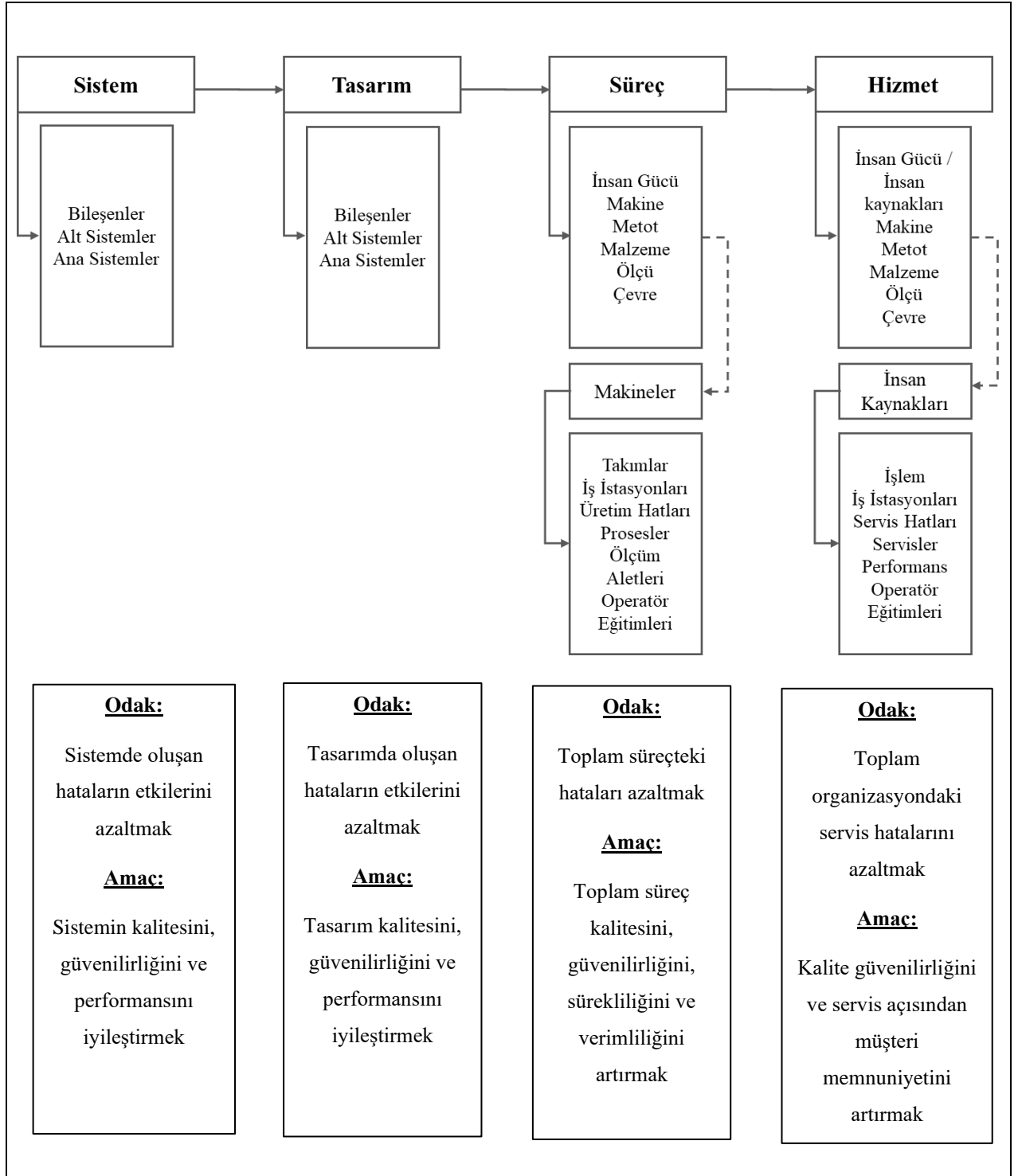
Effects and Criticality Analysis” başlığıyla 9 Kasım 1949 tarihinde yayımlanmıştır. İlk kullanım amacı, bir güvenlik analiz aracı olarak sistem ve ekipmanlarda meydana gelen hataları incelemek olan yöntem, daha sonra 1960-1965 yılları arasında NASA tarafından Apollo Projesinde (İnsanlı Ay Seyahati) de kullanılmıştır. Otomotiv sektöründe ilk defa Ford Motor Şirketi tarafından uygulanan yöntemin endüstriyel anlamda uygulaması ise Japon NEC firmasında kullanımıyla birlikte olmuştur [45]. HTEA’nin avantajları aşağıdaki gibidir [45, 46]:

- HTEA, ürün veya süreçlerdeki kalite, performans ve güvenilirliğinin artırılmasını sağlar.
- Bir ürün veya süreçte meydana gelebilecek hatalar için önceden proaktif önlemlerin alınmasını sağlayarak olası kayıpların önlenmesini sağlar.
- Hata ve fire oranlarının azaltılmasını sağlayarak kalite maliyetlerinin önüne geçilmesini sağlar.
- İşletmelerin prestij kazanmalarına ve yerel / yabancı pazarda rakiplerine karşı rekabet avantajı elde etmelerine yardımcı olur.
- Operasyonel süreçlerin daha etkin ve verimli bir şekilde yürütülmesini sağlar.
- Katma değeri olmayan, gereksiz iş yüküne yol açabilecek faaliyetlerin önlenmesini sağlar.
- Takım çalışması, beyin fırtınası gibi faaliyetlerin yaygınlaştırılmasını sağlayarak kurumsal iletişim ve iş birliğinin gelişmesine katkıda bulunur.
- Ürün ve süreçlerde tespit edilen hata türlerini önem derecesine göre önceliklendirir.
- Sistem, ürün, hizmet veya süreçlerdeki kalite, performans ve güvenilirliğin artırılmasını sağlar.
- Müşteri memnuniyetinin artırılmasına ve olumsuz geri bildirimlerin azaltılmasına odaklanır.
- Riskleri azaltmaya yönelik tüm faaliyetlerin belgelenecek kayıt altına alınmasını ve devamlı olarak takibini sağlayan bir yaklaşım sunar.
- Çalışanların sürekli iyileştirme kültürünü benimsemelerine destek olur.

### **3.1.1. HTEA Türleri**

HTEA, kullanım alanı bakımından Sistem HTEA, Tasarım HTEA, Süreç HTEA ve Hizmet HTEA olmak üzere 4 ayrı kategoriye ayrılmaktadır.

Şekil 3.2. HTEA Çeşitleri, Odak ve Amaçları [47]



**Sistem HTEA:** Sistem HTEA, sistemler ile alt sistemlerde meydana gelen hataları ele alır. Bu yöntemde, sistem fonksiyonları arasındaki sistemdeki eksikliklere bağlı oluşan hataların tanımlanması ve bu hataları ortadan kaldırmak için çözümler geliştirilmesi amaçlanır [47]. Bu yöntemin avantajları; sistem alternatifleri arasından optimum seçim yapılmasında etkin bir role sahip olması, sistemden kaynaklı oluşabilecek hataları ve

bunların sistem veya alt sistemlerle ne gibi bir bağlantısı olduğunu araştırması, ileride meydana gelme ihtimali olan hataların önceden tespit edilme olasılığını artırması ve sisteme katkı sağlamayan, bir etkisi olmayan kısımların tespit edilmesinde etkili olması olarak sıralanabilir [45].

**Tasarım HTEA:** Tasarım HTEA, ürün henüz tasarım aşamasında iken oluşabilecek hataları tanımlayan, bunları analiz eden ve bu hatalara karşı önlem almayı amaçlayan disiplinli bir metottür. Ayrıca bu yöntemde, tasarım aşaması dışında imalat / montaj veya donanımdan kaynaklı ya da ürünün kötü kullanımına bağlı oluşan hatalar tanımlanarak analiz edilir ve bu hata modları için önerilen düzeltici eylemler yeni ürün ve teknolojilerin tasarım planlamaları sırasında dikkate alınır [45]. Tasarım HTEA yöntemindeki hata modlarını belirlemede iki farklı yaklaşım mevcuttur. İlk yaklaşımda, sistemin veya ürünün bütününden en alt bileşenine doğru gidilerek analiz gerçekleştirilirken, diğerinde ise sistemin en alt düzeyinde bulunan bileşenlerden sistemin ya da ürünün bütününe doğru bir yaklaşım söz konusudur. Bu yöntemlerin hangisinin uygulanacağını sistemin ve problemin büyüklüğü belirlese de genellikle ikinci yol tercih edilir [45]. Tasarım HTEA yöntemi gerçekleştirilirken; tasarım ekibi tarafından ürünün fonksiyonu, kullanım amacı, ürünün hangi bileşenlerden oluştuğu, ürünün bileşiminde hangi ham maddelerin kullanıldığı, ürünün diğer ürünlerle etkileşimi, ürünün hangi üretim aşamalarından geçtiği, kullanım, depolama, onarım ve bertaraf edilme talimatları, kullanıcı bilgileri vb. hakkında bilgi toplanarak analiz gerçekleştirilebilir [47].

Bu yöntemin avantajları; üründeki olası tasarım hatalarının üretime geçilmeden önce önüne geçilmesini ve bunlara çözüm bulunmasını sağlaması, en kritikten en az önem teşkil edene doğru bir risk öncelik sırası belirlenerek tasarımda yapılacak düzeltmeler için bu sıralamanın dikkate alınması ve tasarım konusundaki önemli ve belirleyici karakteristiklerin belirlenmesini sağlaması olarak sıralanabilir [48]. Hata ortaya çıktıktan sonra düzeltilmesi zor olduğundan ve imalat ve sonraki aşamalarda yapılacak düzeltmeler hata maliyeti doğurduğundan dolayı tasarım aşaması bir sürecin en kritik evresi olarak kabul edilir. Dolayısıyla, ürün tasarımı sırasında oluşabilecek hatalardan ve zayıflıklardan ötürü oluşabilecek hata türlerini doğru bir şekilde tanımlamak ve bunların olumsuz etkilerini en aza indirmek önemlidir [47].

**Proses HTEA:** Proses HTEA, üretim, montaj, depolama, sevkiyat vb. süreçler sırasında yaşanan aksaklıklardan kaynaklı doğabilecek ve ürünün belirlenen standartlara uygun üretilmesini etkileyen hataları ve riskleri belirlemek için uygulanır. Bu yöntemde süreçler bir bütün olarak veya alt süreçlere ayrılarak ele alınıp süreçlerin işleyişi sırasında meydana gelebilecek riskler tespit edilir ve bu risklerin etkilerinden kaçınmak için aksiyon alınır [47]. Proses HTEA yönteminde üretim gerçekleşmeden önce hata modlarını belirlemek ve bunlara karşı önlem almak kolay olmakla birlikte, üretimin bileşenleri (makine, malzeme, insan, metot, çevre, ölçme) arasındaki etkileşimler bu yöntemin uygulanmasını zorlaştırmakta ve daha fazla zaman almasına yol açmaktadır [47].

Bu yöntemin avantajları; yeni üretim ve montaj süreçlerinin ve bu süreçlerde yaşanan aksaklıkların analizine olanak tanınması, üretim veya montaj sırasında oluşabilecek risklerin ve etkilerinin önceden bilinmesine yardımcı olması ve hatalı, kalite standartlarına uymayan ürünlerin üretilme olasılığının düşürülmesi için kontroller yapılarak süreç sırasında yaşanan sorunların azaltılmasını sağlaması olarak sıralanabilir [45].

**Hizmet HTEA:** Hizmet başarısızlığı, sunulan hizmetin kalite ve performans açısından beklentinin altında kalması, müşteri memnuniyetinin tam olarak sağlanamaması gibi durumlarda ortaya çıkan bir olgudur [49]. Bunun yaşanmaması adına müşteriye hizmet henüz ulaştırılmadan önce sistem ve proses eksikliklerinden kaynaklı mevcut veya olası hataların tanımlanıp analiz edilerek sistemlerdeki iş akışının optimum düzeye getirilmesi amacıyla Hizmet HTEA uygulanır [50].

Yöntemin avantajları; iş akışı, sistem ve süreç analizlerinin etkin düzeyde yapılmasını sağlaması, hizmet sürecindeki iş akışını kesintiye uğratan eksikliklerin saptanması, hizmet kalite ve performansını etkileyen kritik veya önemli kategorideki işlerin belirlenmesi, kontrol planı hazırlama çalışmalarında destek sağlaması olarak sıralanabilir [45].

### 3.1.2. HTEA Uygulama Adımları

**1.Adım: HTEA Kapsamının Belirlenmesi:** Gereksiz kısımların analize dahil edilmesi sonucu yaşanan kayıp zamanların önüne geçmek için ilk aşamada çalışmanın sınırlarının ve amacının net ve doğru bir şekilde belirlenmesi önem teşkil etmektedir [50]. Çalışmayı çok geniş alanda yapmak yerine küçük bileşenlere ayırmak ve analizin başlangıç noktasını doğru bir şekilde belirlemek uygulamanın başarısı ve etkinliği açısından önemlidir. HTEA çalışma ekibi oluşturulup görev dağılımı yapıldıktan sonra kapsamda değişiklikler yapılabilir [45]. HTEA çalışmalarında kapsamı belirlemek için 2 farklı yol izlenebilir. İlk yöntemde, sürecin tüm adımları değerlendirmeye alınır ve çalışmalar zaman içindeki ilerlemeye bağlı olarak şekillenir. İkinci yöntemde ise, süreçteki kritik alanlara odaklanılır [50]. HTEA çalışmalarında süreklilik esastır. Süreçler sistematik olarak devamlı kontrol altında tutulmalı ve süreçler sırasında yaşanan olumsuzluklar analiz edilerek gerekli önlemler alınmalıdır [51, 52].

**2.Adım: HTEA Ekibinin Oluşturulması:** HTEA bir ekip çalışmasıdır. Metodolojinin bireysel olarak uygulanması mümkün olsa da bu tür bir çalışma yanlı değerlendirmeler içerebileceğinden dolayı çalışmanın tek kişi tarafından yürütülmesi kabul edilebilir bir yaklaşım değildir [45]. HTEA çalışmasında ekipler yapılacak çalışma özelinde oluşturulmalı, takımlar kurulurken farklı disiplinlerden, alanında uzman kişilerin bir araya getirilmesine özen gösterilmelidir. Ayrıca, çalışmaya başlamadan önce ekibe yönelik eğitim düzenlenmesi ve çalışmanın kapsamı, amacı ve yöntemi konusunda bilgilendirme yapılması da önemlidir [48]. Başarılı bir HTEA uygulaması için takım üye sayısı küçük tutulmalıdır. Ayrıca; alanında uzman, takımı yönetecek yetenek ve tecrübeye sahip bir takım lideri olması ve ekipte üst yönetimden kişilerin de yer almasının sağlanması olumlu neticeler alınması açısından önemlidir [45,51]. HTEA uygulamasında hata modlarını belirleyen ve değerlendiren kişiler aynı olabildiği gibi, çalışmanın tamamen farklı kişilerden oluşan iki ayrı grup halinde yürütülmesi de mümkündür.

**3.Adım: HTEA Uygulanacak Sistem, Ürün, Süreç veya Servisin İncelenmesi:** HTEA çalışmalarının başarıyla sonuçlandırılabilmesi için en önemli hususlardan biri analiz edilen ürün veya süreç hakkında detaylı araştırma yapıp bilgi toplanması ve gözlem yapılmasıdır. Bu doğrultuda ilk başta, HTEA çalışmasına konu olan sistem, tasarım,

proses veya servisin fonksiyonel yapısı, spesifikasyonları, çalışma ve üretim prensipleri ortaya konulur. Hata türlerinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi ürün veya sistemin fonksiyon ve özelliklerinin iyi bir şekilde tanımlanmasına bağlıdır. Sürecin incelenmesinde, her bir takım üyesi kendi sürecinin yanı sıra HTEA kapsamındaki diğer süreçleri de incelemeli ve bu süreçler hakkında da bilgi edinmelidir [45]. Sistemi oluşturan bileşenleri ve bu bileşenler arasındaki etkileşimi gözlemlemek ve analizin daha kolay bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak için akış şemalarından da faydalanılabilir [53].

**4.Adım: Olası Hata Türlerinin Tanımlanması:** Sistem fonksiyonlarının etkin bir şekilde gerçekleştirilmesini etkileyen olumsuzluklar hata olarak tanımlanabilmekte olup operasyonlarda kesintiler olmaması için bu hataların ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Hata türlerini belirlemede faydalanılabilecek kaynaklar aşağıdaki gibidir [53]:

- Müşteri şikayet raporları,
- Çalışan anketleri,
- Paydaş anket değerlendirme raporları,
- Kalite kontrol test sonuç raporları,
- Duyarlılık analiz raporları,
- Benzer sistem, tasarım veya ürünlerin analizi için yapılmış HTEA sonuçları,
- Simülasyon çalışmaları sonucu elde edilen sonuçlar.

Hata türleri belirlenirken, beyin fırtınası, neden – sonuç diyagramları gibi problem çözüm tekniklerinin kullanılması da etkili sonuç vermektedir [53].

**5.Adım: Olası Hata Nedenlerinin Belirlenmesi:** Hata ile sebebi arasında doğrudan bir ilişki olduğundan hataları önlemek ve etkileri ortadan kaldırmak için kök sebeplerin araştırılması çok önemlidir. Bu aşamada analist hata sebeplerinin belirlenmesinde sıkça kullanılan balık kılıcı diyagramı, 3M+1İ (Makine, malzeme, metot ve insan) gibi yöntemlerle “Olası hata türüne yol açabilecek nedenler nelerdir?” sorusuna yanıt bulmaya ve neden-sonuç ilişkilerini kurmaya çalışır [45].

**6.Adım: Olası Hata Etkilerinin Belirlenmesi:** Bu aşamada analist, müşteri şikayetleri, garanti verileri, önceki benzer HTEA sonuçları gibi kayıtlardan faydalanarak potansiyel

hatanın ürün veya süreçte oluşturabileceği olumsuzlukları, son kullanıcılardan gelebilecek olası olumsuz geri bildirimleri araştırır [45].

**7.Adım: Mevcut Kontrollerin Belirlenmesi:** Mevcut kontrol işlemlerinin planlanması ve uygulanması sürecinde, hatanın gerçekleşmesini ve müşteriye ulaşmasını engellemek için alınacak eylemlerin kararlaştırılarak güvenilir bir kontrol mekanizması geliştirilmesi ve bu kontrollerin sistematik bir şekilde uygulanması potansiyel hata ve etkilerinin önüne geçilebilmesi açısından çok büyük önem teşkil etmektedir. Bu aşamada, olası hata türünün mevcut kontrollerle nasıl saptanabileceği araştırılır [50].

**8.Adım: Olasılık Parametre Skorunun Belirlenmesi:** Olasılık; kısaca bir hata modunun gerçekleşme frekansı olarak ifade edilir. Olasılık parametresinin sayısal değerini belirlemenin iki farklı yolu vardır. İlk yaklaşımda; her bir hata modu için olasılık numerik değeri tespit edilir. İkinci yaklaşımda ise; hataya sebep olan unsur/unsurlar oluşursa hatanın da meydana geleceği kabul edilerek hata modu ile sebebi arasında bir bağlantı kurulur. Olasılık parametresinin tahmininde önceki kayıtlardan, raporlardan, istatistiklerden ve tecrübelerden faydalanılabilir. Ölçek tablosu hazırlanırken 10'luk, 5'lik ya da başka bir skala kullanılabilir [45, 50, 53, 54]. Klasik HTEA uygulamasında hata modlarının olasılık değerleri Çizelge 3.1.'deki ölçütler dikkate alınarak kararlaştırılır.



Çizelge 3.1. Olasılık derecelendirme tablosu [52]

Hatanın Oluşma Sıklığı	Olası Hata Oranları	Derece
Çok yüksek (hata neredeyse kaçınılmaz seviyede)	1/2'den fazla	10
	1/3	9
Yüksek (Çok kez tekrarlanan hata)	1/8	8
	1/20	7
Orta (Ara sıra olan hata)	1/80	6
	1/400	5
Düşük (Nispeten az olan hata)	1/2000	4
	1/15.000	3
Çok Düşük (Olası Olmayan hata, gerçekleşmesi neredeyse imkansız)	1/150.000	2
	1/1.500.000'den düşük	1

**9.Adım: Şiddet Parametre Skorunun Belirlenmesi:** Olası bir hatanın şiddeti, hatanın gerçekleşmesi durumunda bu hatanın son kullanıcı üzerinde oluşturabileceği etkinin büyüklüğü ile ölçülür. Hatanın sistem, süreç, ürün ya da müşteri üzerindeki etkisi arttıkça şiddet parametresinin sayısal değeri de büyümekte olup bu değer belirlenirken şiddet etkisi tahmin edilirken kullanılan kaynaklardan faydalanılır [50, 53]. Klasik HTEA uygulamasında hata modlarının şiddet değerleri Çizelge 3.2.'deki ölçütler dikkate alınarak kararlaştırılır.

Aşağıda bir örneği sunulan ölçeklendirme tablosu çalışmaya bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Genellikle 10'luk skalada ölçüt tabloları tercih edilse de 5'lik skalada ya da başka bir skalada da olabilir [50].

Çizelge 3.2. Şiddet derecelendirme tablosu [55]

Etki	Şiddetin etkisi (S)	Derece
Tehlikeli	Emniyetle ilgili arıza, yasalarla uyumsuz bir arıza. Hata herhangi bir ikaz olmadan meydana gelir.	10
Ciddi	Emniyetle ilgili arıza, yasalarla uyumsuz bir arıza. Hata bir ikazla meydana gelir.	9
Çok büyük	Üründe temel fonksiyon kaybı. Ürünün tamamı hurdaya çıkar.	8
Büyük	Ürün / süreç üzerinde büyük etki. Ürün kullanılamaz. Üretimin ayıklanması ve bir bölümünün (%100'den az) hurdaya ayrılması gerekir.	7
Önemli	Parçanın yeniden işlenmesine neden olur. Ürün performansının derecesi düşmüştür. Ürün çalışmaktadır fakat kolaylık / rahatlık sağlayan bazı parçalar çalışmaz.	6
Orta	Ürün performansı veya süreç üzerinde orta şiddette etki. Müşteri bazı rahatsızlıklar duyar. Kolaylık / rahatlık sağlayan bazı parçalar düşük performansla çalışırlar.	5
Küçük	Ürün performansı veya süreç üzerinde küçük şiddette etki. Hata müşteri tarafından fark edilir ve ürün kullanımında bazı rahatsızlıklar yaşanır.	4
Önemsiz	Ürün performansı veya süreç üzerinde önemsiz etki. Hata müşteriler tarafından fark edilir.	3
Çok önemsiz	Ürün performansı veya proses üzerinde çok önemsiz etki. Hata müşteriler tarafından fark edilmez.	2
Etkisi yok	Ürün performansı veya proses üzerinde hiç etkisi yok.	1

**10.Adım: Saptanabilirlik Parametre Skorunun Belirlenmesi:** Saptanabilirlik değeri, olası hatanın müşteriye ulaşmadan önce fark edilip mevcut kontrol yöntemleriyle ortadan kaldırılma derecesini ifade eder [45]. Hata ne kadar kolay saptanabilirse derecesi o kadar düşük olmakta, saptanabilirlik zorlaştıkça derece yükselmektedir [48]. Mevcut kontrollerle hatalar etkin bir şekilde saptanabiliyorsa bile fazla sayıda kontrol işletme açısından ekstra maliyet, zaman ve efor gerektirdiği için bu noktada en etkili çözüm, kontrol sayısını fazla tutmak yerine hataların oluşma olasılığını düşürmeye yönelik iyileştirmeler yaparak kontrol miktarını azaltmaktır [54].

Çizelge 3.3. Saptanabilirlik derecelendirme tablosu [55]

<b>Saptanabilirlik</b>	<b>Saptanabilme Olasılığı (S)</b>	<b>Derece</b>
Hemen hemen imkansız	Saptanabilmesi <b>mümkün değil</b>	10
Çok zor	Mevcut kontrollerle hata türünün saptanması <b>çok zor</b>	9
Zor	Mevcut kontrollerle hata türünün saptanması <b>zor</b>	8
Çok az	Mevcut kontrollerle hata türünün saptanması <b>çok az</b>	7
Az	Mevcut kontrollerle hata türünün saptanması <b>az</b>	6
Orta	Mevcut kontrollerle hata türünün saptanması <b>orta</b>	5
Ortanın Üstü	Mevcut kontrollerle hata türünün saptanması <b>ortanın üstünde</b>	4
Yüksek	Mevcut kontrollerle hata türünün saptanması <b>yüksek</b>	3
Çok Yüksek	Mevcut kontrollerle hata türünün saptanması <b>çok yüksek</b>	2
Hemen hemen kesin	Mevcut kontrollerle hata türünün saptanması <b>hemen hemen kesin</b>	1

Çizelge 3.3.'teki saptanabilirlik ölçeklendirme tablosu da şiddet tablosunda olduğu gibi çalışmaya bağlı olarak değişebilir. Genellikle 10'luk skalada ölçüt tabloları tercih edilse de tabloların 5'lik skalada ya da başka bir skalada hazırlanması mümkündür [50].

**11.Adım: Risk Öncelik Sayısının (RÖS) Hesaplanması ve Değerlendirilmesi:** Risk Öncelik Sayısı (RÖS), HTEA çalışmasının 3 temel parametresi olan Olasılık (O), Şiddet (S) ve Saptanabilirlik (D) sayısal değerlerinin çarpımıyla elde edilen bir değerdir. Her bir hata modu için hesaplama yapılarak RÖS puanları elde edilir [53]. Bu değer, hata modlarının içerdikleri riskin yüksekliğine göre büyükten küçüğe doğru sıralanarak risk önceliklerinin belirlenmesinde esas alınır. RÖS sıralamasında art arda olan hata modları için yapılacak iyileştirmelerde daha fazla risk barındıran, dolayısıyla da listenin üstünde yer alan hata modlarına öncelik verilir [56]. RÖS değerinin klasik HTEA yöntemindeki hesaplaması aşağıdaki gibidir [53]:

$$RÖS = \text{Olasılık (O)} \times \text{Şiddet (S)} \times \text{Tespit Edilebilirlik (D)}$$

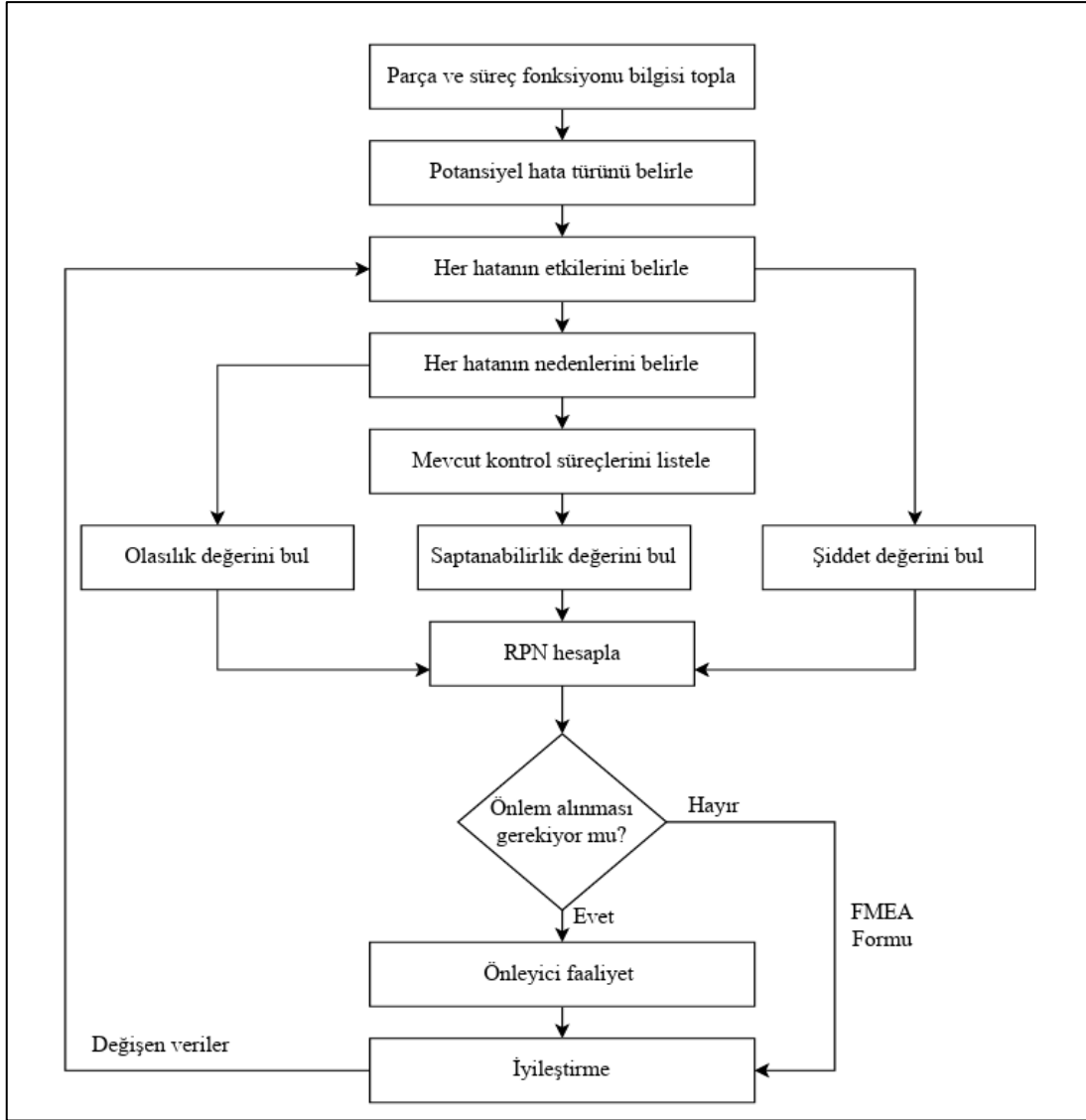
RÖS skorları bulunup hatalar sıralandıktan sonra düzeltici faaliyet gerektiren kısma karar vermek için uygulanabilecek ilk yaklaşım; bir limit değer belirlenerek sadece RÖS değeri bu değere eşit veya bunun üzerinde olanlar için düzeltici aksiyon alınmasıdır. Limit değeri için sabit bir sayı olmayıp bu kararda HTEA takım üyelerinin ortak görüşü belirleyici rol oynar. Bir diğer yaklaşım ise, RÖS değerleri alınarak oluşturulan Pareto

diyagramlarından yararlanılmasıdır. Buna yaklaşıma göre, 80-20 kuralı uygulanarak iyileştirme gerektiren hata unsurlarına karar verilir. 80-20 kuralında RÖS değerlerinin % 80 inin diğer % 20 lik kısımdan dolayı meydana geldiği varsayılır ve % 20 lik dilimde kalan hatalar için düzeltici faaliyet uygulanır [50, 54]

**12.Adım: Alınacak Önlemlerin Belirlenmesi:** Düzeltici faaliyetler yalnızca, takım görüşleri doğrultusunda belirlenen eşik değerin üzerinde RÖS skoruna sahip hata türleri için uygulanır. Bu evrede, kalite iyileştirme çalışmaları yapılarak ve risk özelinde önlemler alınarak hatalara karşılık gelen risk parametrelerinin (O, S, D) numerik değerlerinin, dolayısıyla da RÖS değerlerinin düşürülmesi ve risklerin kabul edilebilir seviyeye getirilmesi hedeflenir [54].

**13.Adım: Yeni RÖS Değerlerinin Hesaplanması:** Eşik değeri aşan hata modları için önleyici eylemler uygulandıktan sonra bu hata modları için hesaplanan RÖS risk skorları iyileştirme öncesindeki değerlerle karşılaştırılarak risklerin kabul edilebilir düzeye inip inmediği sorgulanır. Bu aşamada, çalışmanın başarısına karar vermede dikkate alınan eşik değer için sabit bir değer olmayıp bu değer belirlenirken tamamen HTEA takımının kararı dikkate alınır. Risk düzeylerinin istenilen seviyede olmaması durumunda iki yaklaşım söz konusudur. İlk yaklaşım, risk değerlendirmelerinin tekrarlanıp yeni ilave önlemler alınmasını içerir. İkinci yaklaşım ise, tamamen yeni bir HTEA çalışması başlatmaktır [53, 54].

Klasik HTEA yöntemine ilişkin genel prosedür ve uygulama adımları Şekil 3.3.'te özetlenmiştir.



Şekil 3.3. HTEA Uygulama Aşamaları [57]

### 3.1.3. HTEA'ya Yönelik Eleştiriler

Literatür incelendiğinde, HTEA yönteminin farklı açılardan eleştirildiği görülmektedir. Örneğin; klasik RÖS hesaplama formülüne göre, farklı O,S,D kombinasyonlarının çarpımı sonucunda aynı RÖS değeri elde edilebilmektedir. Ancak bu risklerin incelenen sistem, süreç veya ürün üzerinde oluşturacağı etkinin ciddiyeti farklı olduğundan, risklerin eşit seviyede öncelikli olduğu varsayıldığında bazı gizli risk unsurlarının, risk seviyesi yüksek ve düzeltici önlem gerektiren risklerin gözden kaçması ve kaynak ve zaman bakımından kayıplar yaşanması olasıdır. Bir diğer eleştiri ise her bir risk için RÖS değeri bulunurken çarpım operatörü kullanılmasının altında yatan sebebin tartışmaya açık olması ve tam olarak bilimsel bir dayanağı olmamasıdır. Formülasyondaki hassasiyetten

ötürü herhangi bir faktörün değerinde yapılan küçük bir artış RÖS üzerinde büyük bir etkiye, hatta kabul edilebilir seviyedeki bir riskin yüksek risk sınıfına taşınmasına dahi neden olabilir. Bunun yanı sıra, risk faktörlerinin nispi önem derecelerinin ve aralarındaki etkileşimin ihmal edilerek parametre önem ağırlıklarının tüm vakalar için eşit olduğunun kabul edilmesi teoriğin pratiğe uygulanmasında gerçekte örtüşmeyen sonuçlara yol açabilir. Örneğin; inşaat gibi çok yüksek risklerin olduğu ve risklerin çok ciddi yaralanmalara, hatta ölümcül sonuçlara yol açabileceği bir sektörde şiddet faktörü ile diğer faktörlerin önem derecesini eşit kabul etmek yanıltıcı sonuçlara, bazı kritik risklerin atlanmasına neden olabilir. Ayrıca; olasılık, şiddet ve saptanabilirlik faktörlerinin risk skorlarını elde etmek amacıyla dönüşüm tablolarından faydalanılmakta fakat bu tablolarda her bir risk faktörü için farklı ölçekler kullanılmaktadır. Risk faktörlerinin skorlarının kesin ve numerik değerlerle ifade edilmesinin oldukça güç olması da yöntemin başka bir eksikliği olarak karşımıza çıkar [57-61].

Bu gibi eksikliklere çözüm getirmek adına literatürde pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada da klasik HTEA yaklaşımını geliştirmek için bulanık mantık tabanlı bir yaklaşım önerilmektedir.

#### 4. BULANIK MANTIK

Klasik mantık anlayışında “evet-hayır”, “var-yok”, “siyah-beyaz”, “sıcak-soğuk”, “uzun-kısa” gibi 0 ve 1 değerleriyle gösterilen ve kesin sınırları ve kuralları olan ikili mantık sistemi hâkimdir. Ancak, gündelik yaşamımızdaki pek çok problem belirsizlik ve muğlaklık içermektedir. Bu yüzden, karşılaşılan her durumu, her bir nesneyi 0 ya da 1 olarak temsil edilmek üzere iki değişken şeklinde gruplamak oldukça dar kapsamlı ve gerçek hayatla uzlaşmayan bir anlayıştır. Ayrıca, günlük hayatta ve iş dünyasında karşılaşılan tüm belirsiz durumlar, doğanın işleyişi, insan düşünce yapısı gibi faktörler göz önünde bulundurulduğunda, kesin kuralları ve sınırları olan bir ikili mantık yaklaşımı hayatımız boyunca yaşadığımız durumları anlamlandırmada ve problemleri çözmeye yetersiz kalmaktadır. Örneğin; “Yemek nasıldı?” sorusuna verilen cevaplar göreceli olup kişiden kişiye farklılık gösterebilir. Bir kişi yemeği “çok iyi” bulurken, bir diğeri “iyi” diyebilir, aynı şekilde bir başka kişi de “fena değildi” şeklinde bir yargıda kullanabilir. Dolayısıyla, bu gibi sayısal verilerden çok kişisel yargıların kullanıldığı ortamlarda cevabı “iyi-kötü” şeklinde iki seçenekle sınırlandırmak gerçeği tam olarak ifade etmeyen sonuçlara ve belirsiz durumların dikkate alınmamasına yol açmaktadır. Gündelik hayatta karşılaşılan belirsizlikleri de çözüm sürecine dâhil edecek daha esnek bir matematiksel model geliştirmek ve gerçeği daha net yansıtan sonuçlar elde etmek amacıyla 1965 yılında Zadeh tarafından “Bulanık Mantık ve Bulanık Kümeler Kuramı” adıyla yayınlanmış olan makale ile birlikte ilk kez “Bulanık Mantık” kavramını ileri sürülmüştür [62].

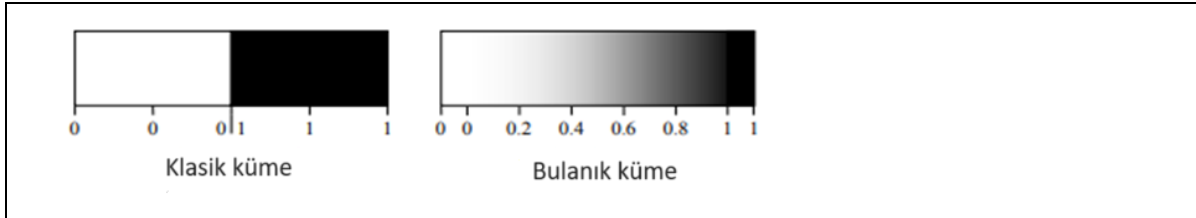
Klasik mantığın aksine bulanık mantık, değerlendirme yaparken tüm bu belirsiz durumları da dikkate almayı ve kesin sınırlar olmadan daha esnek bir şekilde sınıflandırma yapmayı hedefleyen bir yaklaşımdır. Bu anlayışa göre, gerçek fiziksel dünyada karşılaşılan nesnelere kesin kurallar çerçevesinde sınıflandırmak çoğu zaman mümkün değildir [62]. Bulanık mantık, günlük hayatta sıkça kullandığımız sıcak, çok sıcak, büyük, çok büyük, çok uzun, çok kısa gibi sözel ifadeleri matematiksel olarak modellemeye ve sayısal sonuçlar elde etmeye olanak tanır [63].

Günlük konuşma dilinde kullandığımız pek çok ifadenin sayısal verilerden çok sözel yargılara dayandığı, bulanıklık içerdiği ve sözel ifadelerin daha kolay anlaşıldığı dikkate

alındığında, bulanık mantığın insanın doğasına ve düşünce yapısına daha uygun olduğu söylenebilir.

#### 4.1. Bulanık Küme Teorisi

1965 yılında, L.A. Zadeh [62] klasik küme kavramının genişleterek Bulanık Küme Teorisini literatüre kazandırmıştır. Klasik kümede bir eleman kümeye ya “aittir” ya da “değildir” şeklinde kesin sınırları olan ikili bir yapı söz konusu iken, bulanık küme teorisi ait olmak ya da olmamak seçenekleriyle birlikte kümedeki elemanın üyelik derecesine göre belirlenen bir kısmi üyelikten de bahseder [64]. Örneğin; Şekil 4.1.’de gösterildiği gibi, bulanık küme anlayışına göre siyah ve beyazın yanı sıra siyah-beyaz arasındaki tüm gri tonlar da belli bir üyelik derecesiyle kısmi olarak kümeye dahil edilirken, klasik küme teorisi yalnızca siyah ve beyazı kümeye dahil eder [65]. Yani, 1 değeri siyahları temsil ediyorsa beyazlar 0 değerini alır ve kümeye dahil edilmez. Aynı şekilde, 1 değeri beyazları gösteriyorsa da siyahlar kümeye dahil değildir. Kısaca, klasik kümelerde kesin sınırları olan ikili mantık yaklaşımı mevcutken, bulanık kümelerde daha esnek ve opsiyonel bir yapı söz konusudur.



Şekil 4.1. Klasik ve Bulanık Kümelerin Şekilsel Gösterimi

#### 4.2. Bulanık Sayılar ve Üyelik Fonksiyonları

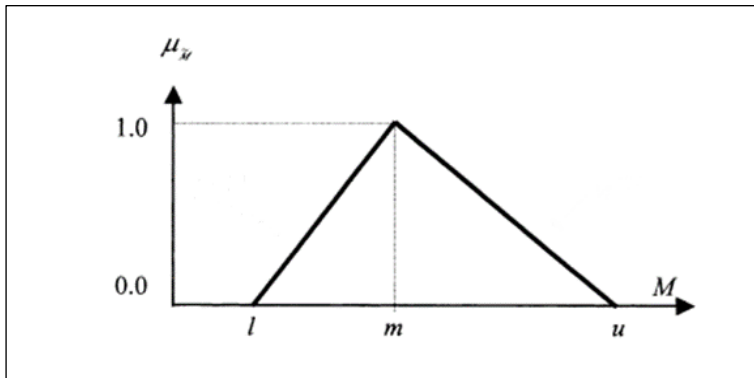
Bulanık sayılar, bulanık kümelerin özel bir alt kümesi olarak görünmekte ve bu sayıları tanımlamak için üyelik fonksiyonlarından faydalanılmaktadır [30].  $E$  evrensel kümesindeki Bulanık bir  $\tilde{A}$  kümesi için üyelik fonksiyonu  $\mu_{\tilde{A}} : E \rightarrow [0-1]$  ile gösterilmekte olup küme elemanlarına bir üyelik derecesi atamak için bu fonksiyonlar kullanılmaktadır. Bulanık kümelerde, kümenin her bir elemanı için o elemanı temsil eden ve o kümeye olan aitlik ölçüsünü gösteren bir üyelik derecesi mevcuttur.  $\tilde{A}$  bulanık



kümesinde bulunan  $x$  elemanın üyelik derecesi  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  şeklinde gösterilmekte olup elemanın kümeye aidiyet ölçüsüne göre  $[0,1]$  aralığında bir değer almaktadır. Değerin büyük olması aidiyetin yüksek, küçük olması ise düşük olduğunu gösterir [66].

Kullanım amacı ve probleme bağlı olarak farklılık göstermekle birlikte akademik çalışmalarda en yaygın kullanılan üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk, gauss, genelleştirilmiş çan eğrisi ve sigmoidal üyelik fonksiyonlarıdır [67]. Sanchez ve Gomez [68] kolay uygulanabilir olması ve sezgisel olarak analiz edilebilir özelliği sayesinde literatürde en çok bulanık üçgen sayıların kullanıldığını belirtmişlerdir.

**Üçgen Üyelik Fonksiyonu:** Üçgen üyelik fonksiyonu, gösterimi  $\tilde{M} = (l, m, u)$  olacak şekilde üç parametreyle tanımlanan özel bir bulanık sayı çeşididir. Bu parametreler sırasıyla, olası en küçük değeri, en olası değeri ve olası en büyük değeri belirtir. Üçgen bulanık bir  $\tilde{M}$  sayısının gösterimi Şekil 4.2.'deki gibi olup üyelik fonksiyonu aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi tanımlanmaktadır [69].

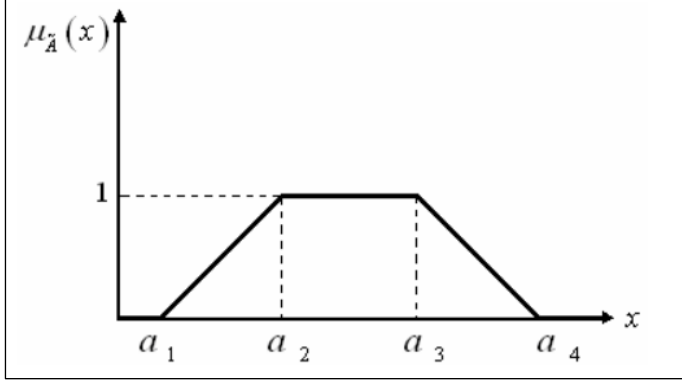


Şekil 4.2. Üçgen Bulanık Sayı,  $\tilde{M}$

$$\mu_{\tilde{M}} = \begin{cases} (x - l) / (m - l), & l \leq x \leq m \\ (u - x) / (u - m), & m \leq x \leq u \\ 0, & x < l \text{ veya } x > u \end{cases}$$

**Yamuk Üyelik Fonksiyonu:** Yamuk üyelik fonksiyonu,  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  şeklinde 4 gerçek sayıyla tanımlanan özel bir bulanık sayı çeşididir. Bu parametrelerden  $a_1$  ve  $a_4$  değerleri alt ve üst sınırları göstermekle birlikte,  $a_1$  değerinin altında ve  $a_4$  değerinin

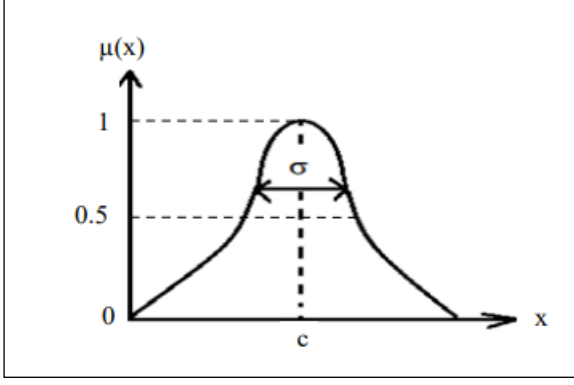
üstünde kalanlar için üyelik derecesi sıfırdır.  $[a_2, a_3]$  aralığında ise kümeye tam üyelik söz konusudur. Yamuk bulanık bir  $\tilde{A}$  sayısının gösterimi Şekil 4.3'teki gibi olup üyelik fonksiyonunun matematiksel formülasyonu aşağıdaki gibidir [70].



Şekil 4.3. Yamuksal Bulanık Sayı,  $\tilde{A}$

$$\mu_{\tilde{A}} = \begin{cases} (x - a_1) / (a_2 - a_1), & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ (a_4 - x) / (a_4 - a_3), & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x < a_1 \text{ veya } x > a_4 \end{cases}$$

**Gauss Üyelik Fonksiyonu:** Gauss üyelik fonksiyonunu tanımlamak için  $c$  ve  $\sigma$  parametreleri kullanılır.  $c$  noktası fonksiyonun merkez noktasını göstermekte olup bu noktada üyelik fonksiyonu 1 değerini almaktadır. Fonksiyonun bir diğer parametresi olan  $\sigma$  değeri ise  $c$  merkez noktası etrafındaki ortalama sapma miktarını vermektedir. Bu fonksiyona ilişkin grafiksel gösterim Şekil 4.4.'teki gibi olup bu üyelik fonksiyonuna ilişkin matematiksel denklem aşağıda verilmiştir [63, 67].



Şekil 4.4. Gauss Üyelik Fonksiyonu

$$\mu_x = e^{\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}}$$

### 4.3. Durulaştırma

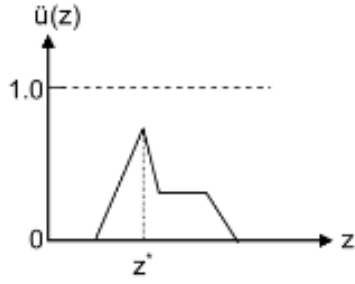
Durulaştırma, bulanık ifadelerden anlamlı sonuçlar elde etmek için bulanık sayıların kesin (crisp) sayılara dönüştürüldüğü işlemi ifade etmektedir. Bulanık çıktılar üyelik fonksiyonları farklı şekilde tanımlanmış iki ya da daha fazla bulanık kümenin birleşimi sonucu elde edilmiş olabilmektedir [71]. Akademik çalışmalarda bulanık kümelerin durulaştırılması amacıyla kullanılmış pek çok yöntem mevcut olup, sıkça kullanılan bazı metotlar aşağıda açıklanmıştır [63, 71].

#### 4.3.1. En Büyük Üyelik İlkesi (Max-membership Principle)

Bu yöntem, literatürde “yükseklik yöntemi” olarak da geçmektedir. Sadece tepeli çıkarım bulanık kümeleri olması halinde bu yöntemle başvurulur. Yöntemin matematiksel gösterimi aşağıdadır.

$$\mu_{\tilde{A}}(z^*) \geq \mu_{\tilde{A}}(z), \quad \forall z \in Z \text{ olur.}$$

Bu ifadedeki  $z^*$  değeri durulaştırılmış değeri göstermekte olup şekilsel gösterimi Şekil 4.5.’teki gibidir.

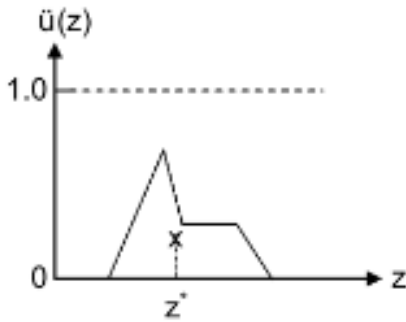


Şekil 4.5. En Büyük Üyelik Durulaştırma Metodu

#### 4.3.2. Sentroid Metodu (Centroid Method)

Literatürde “Ağırlık merkezi” yöntemi olarak da bilinen bu yöntem, en sık kullanılan durulaştırma yöntemi olarak kabul edilmektedir. Bu yöntemde, durulaştırılmış değeri bulmak amacıyla belli bir alan taranmakta ve o alanın ağırlık merkezi de aranan değeri vermektedir. Yönteme ait matematiksel formül aşağıda ifade edilmiş olup yöntemin şekilsel gösterimi Şekil 4.6.’daki gibidir.

$$COG = \frac{\int_a^b \mu_A(x) x dx}{\int_a^b \mu_A(x) dx}$$

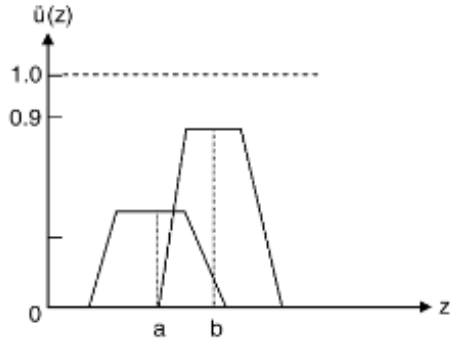


Şekil 4.6. Sentroid Metodu

#### 4.3.3. Ağırlıklı Ortalama Metodu

Yöntem yalnızca simetrik üyelik fonksiyonu bulunması durumunda kullanılabilir. Burada,  $\bar{z}$  her bir üyelik fonksiyonunun orta değerini vermektedir. Bu metoda ilişkin denklem aşağıda olup yöntem Şekil 4.7.’deki gibi gösterilmektedir.

$$z^* = \frac{\sum \mu_{\tilde{A}}(\bar{z})\bar{z}}{\sum \mu_{\tilde{A}}(\bar{z})} (\bar{z})$$



Şekil 4.7. Ağırlıklı Ortalama Metodu

#### 4.3.4. Graded Mean Integration (GMI)

Bu yöntemde  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$  üçgen bir bulanık sayı olmak üzere  $\tilde{A}$  sayısını durulaştırmak için aşağıdaki matematiksel formül kullanılmaktadır.

$$DF_{crisp} = \frac{a_1 + 4a_2 + a_3}{6}$$

Bunlara ek olarak literatürde ortalama en büyük üyelik yöntemi, en büyük ilk veya son üyelik derecesi yöntemi, toplamların merkezi yöntemi, en büyük alan merkezi gibi farklı durulaştırma yöntemleri de mevcuttur [63].

#### 4.4. Bulanık Karar Verme

İnsanlar günlük hayat ve iş dünyasındaki karar alma süreçlerinde pek çok belirsiz koşulla karşılaşmakta ve karar üzerinde belirleyici etkiye sahip belirsiz veya nitel özellikte kriterler içeren problemler için ikili mantık anlayışına dayanan nicel değerlendirmeler yapmak gerçekçi çözümler elde etme açısından yetersiz kalmaktadır. İnsan yaşamındaki belirsizlikler ve değerlendirme kriterleri çoğu zaman karmaşık ve bazı durumlarda birbirleriyle çelişen farklı özelliklere sahiptir. Bununla birlikte, insan zihin yapısı itibariyle mantıksal değerlendirmeler yaparken kesin sayısal veriler yerine yaklaşık değerler ve sözel ifadeler kullanmaya daha yatkındır ve kişisel yargılarda hep bir belirsizlik ve görecelik söz konusudur. Tüm bu hususlar dikkate alındığında, seçimleri 0 ya da 1 ile

temsil edilen iki seçenekle sınırlandırmak ve karar vericilere hiçbir esneklik tanımamak onların değerlendirme yaparken zorlanmalarına, ikilemde kalmalarına ve gerçek durumu tam olarak yansıtmayan değerlendirmelere yol açabilir. Bu eksiklikleri gidermek ve belirsizlik faktörünü karar modellerine dahil etmek için geliştirilen Bulanık ÇKKV yöntemleri, klasik yaklaşımın çerçevesini esneterek belirsiz ifadelerin ve sözel terimlerin matematiksel olarak modellenmesine imkan tanımakta ve bu noktada çok daha gerçekle uzlaşan ve tutarlı çözümler sunmaktadır [72]. Bu yöntemler, nitel veya eksik bilgi barındıran karar verme süreçlerinde belirsizliği minimize etmek ve etkin sonuçlar elde etmek için kullanılmaktadır [73].

## 5. PIPRECIA ve BULANIK PIPRECIA YÖNTEMLERİ

Bu kısımda PIPRECIA ve Bulanık PPRECIA kavramları ve yöntem adımları tanıtılacaktır.

### 5.1. PIPRECIA

Açılımı “Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment” olan ve “Pivot İkili Göreceli Kriter Önem Değerlendirmesi” şeklinde Türkçe’ye çevrilebilen PIPRECIA yöntemi 2017 yılında Stanujkic [14] tarafından literatüre kazandırılmıştır. Kriter ağırlıklarının hesaplanması amacıyla geliştirilen ve SWARA yöntemine benzerlik gösteren bu yöntem, SWARA’daki sıralama problemini çözmek amacıyla geliştirilen bir değerlendirme ve karar verme metodudur [22]. PIPRECIA, her ne kadar SWARA yönteminin bir uzantısı gibi görünse de, SWARA’ya göre daha pratik ve avantajlıdır. PIPRECIA’nın SWARA’ya göre üstünlüğü, SWARA yönteminde değerlendirme öncesi her bir karar vericiden kriterleri kendilerine göre önem derecesine göre sıralamaları bekleniyorken, bu yöntemde sıralama yapmadan da değerlendirmeye olanak tanıyor olmasıdır [14]. Ayrıca, ikili karşılaştırmaları azalttığından dolayı grup karar verme gerektiren ve fazla sayıda karar verici içeren ÇKKV problemlerinin etkin bir şekilde çözülebilmesi noktasında kolaylık sağlaması yöntemin bir diğer avantajı olarak karşımıza çıkmaktadır [28].

PIPRECIA yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibidir [14]:

**Adım 1:** Gerekli kıyaslama kriterleri belirlenir.

**Adım 2:** İkinci kriterden başlanarak, her bir  $j$  kriterinin kendinden bir önceki ( $j-1$ ) kritere göre göreceli önemi ( $s_j$ ) belirlenir.

$$s_j = \begin{cases} > 1 & \text{eğer } C_j > C_{j-1} \\ 1 & \text{eğer } C_j = C_{j-1} \\ < 1 & \text{eğer } C_j < C_{j-1} \end{cases} \quad (5.1)$$

**Adım 3:** Her bir değerlendirme kriteri  $j$  için  $k_j$  katsayısı hesaplanır.

$$k_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ 2 - s_j & j > 1 \end{cases} \quad (5.2)$$

**Adım 4:** Her bir değerlendirme kriteri  $j$  için yeniden hesaplanan ağırlık ( $q_j$ ) hesaplanır.

$$q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad (5.3)$$

**Adım 5:** Her bir değerlendirme kriteri  $j$  için göreceli ağırlık ( $w_j$ ) hesaplanır.

$$w_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^n q_k} \quad (5.4)$$

## 5.2. Bulanık PIPRECIA

Bulanık tabanlı bir ÇKKV yöntemi olan Bulanık PIPRECIA yöntemi, Stevic vd. [22] tarafından belirsizlik içeren durumlarda kriter ağırlıklarının hesaplanması için bulanık küme teorisinin klasik yöntemle uyarlanmasıyla önerilen bir yöntemdir. Bulanık PIPRECIA yöntemi, bulanık koşullar altında grup karar verme süreçlerinde ve nitel ya da muğlak kriterler içeren ÇKKV problemlerinin çözümünde etkili sonuç vermektedir [30].

Bulanık PIPRECIA yönteminin 11 adımdan oluşan uygulama adımları aşağıda ele alınmıştır [22, 28]:

**Adım 1:** İlk adımda, çalışmada yer alacak uzman karar vericiler ( $DM_r$ ,  $r = 1, 2, 3, \dots, r$ ) ve değerlendirme kriterleri ( $C_j$ ,  $j = 1, 2, 3, \dots, j$ ) belirlenir. Ardından, herhangi bir sınıflandırma olmaksızın ve kriter önem dereceleri dikkate alınmaksızın ilk kriterden sonuncuya kadar tüm değerlendirme kriterleri sıralanır.

**Adım 2:** Kriterlerin göreceli önemini belirlemek için her bir karar verici  $DM_r$  ikinci kriterden başlayarak bir önceki kriteri Denklem (5.5) yardımıyla değerlendirir.

$$\bar{s}_j^r = \begin{cases} > \bar{1} & \text{eğer } C_j > C_{j-1} \\ = \bar{1} & \text{eğer } C_j = C_{j-1} \\ < \bar{1} & \text{eğer } C_j < C_{j-1} \end{cases} \quad (5.5)$$

$\bar{s}_j^r$  karar verici  $DM_r$  tarafından yapılan kriter değerlendirmesini gösterir. Bir  $\bar{s}_j$  matrisinin oluşturulabilmesi için geometrik ortalama kullanılarak  $\bar{s}_j^r$  matris ortalamasının hesaplanması gerekmektedir.



Kıyaslama yapılırken; kriter bir önceki kriterine göre daha az önemli olduğunda Çizelge 5.1., bir önceki kriterine göre daha fazla önemli olduğunda ise Çizelge 5.2. dikkate alınır. Uzmanlara değerlendirme sürecinde kolaylık sağlanması adına Çizelge 5.1. ve Çizelge 5.2.'de her bir karşılaştırmaya karşılık gelen durulaştırılmış değerler de sunulmaktadır.

Çizelge 5.1. Kriterlerin değerlendirilmesi için ölçek 0-1

Dilsel Değişkenler	Bulanık sayılar			Durulaştırılmış değer
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	
Zayıf bir şekilde az önemli	0,667	1,000	1,000	0,944
Orta derecede daha az önemli	0,500	0,667	1,000	0,694
Daha az önemli	0,400	0,500	0,667	0,511
Gerçekten daha az önemli	0,333	0,400	0,500	0,406
Çok daha az önemli	0,286	0,333	0,400	0,337
Baskın olarak daha az önemli	0,250	0,286	0,333	0,288
Kesinlikle daha az önemli	0,222	0,250	0,286	0,251

Çizelge 5.2. Kriterlerin değerlendirilmesi için ölçek 1-2

Dilsel Değişkenler	Bulanık sayılar			Durulaştırılmış değer
	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>u</i>	
Neredeyse eşit değer	1,000	1,000	1,050	1,008
Biraz daha önemli	1,100	1,150	1,200	1,150
Orta derecede daha önemli	1,200	1,300	1,350	1,292
Daha önemli	1,300	1,450	1,500	1,433
Çok daha önemli	1,400	1,600	1,650	1,575
Baskın olarak daha önemli	1,500	1,750	1,800	1,717
Kesinlikle daha önemli	1,600	1,900	1,950	1,858

**Adım 3:** Denklem (5.6) yardımıyla  $\bar{k}_j$  katsayısı hesaplanır.

$$\bar{k}_j = \begin{cases} = \bar{1} & \text{eğer } j = 1 \\ 2 - \bar{s}_j & \text{eğer } j > 1 \end{cases} \quad (5.6)$$

**Adım 4:** Denklem (5.7) kullanılarak  $\bar{q}_j$  bulanık ağırlığı belirlenir.

$$\bar{q}_j = \begin{cases} = \bar{1} & \text{eğer } j = 1 \\ \frac{q_{j-1}}{\bar{k}_j} & \text{eğer } j > 1 \end{cases} \quad (5.7)$$

**Adım 5:** Denklem (5.8) yardımıyla  $\bar{w}_j$  görelî ağırlığı elde edilir.

$$\bar{w}_j = \frac{\bar{q}_j}{\sum_{j=1}^n \bar{q}_j} \quad (5.8)$$

Aşağıda yer alan adımlar ise Bulanık PIPRECIA yönteminin ters metodolojisinin uygulanmasını içerir.

**Adım 6:** Ters ikili karşılaştırmaların elde edilebilmesi için, bu defa değerlendirmeler sondan bir önceki kriterden başlanarak yapılır. Değerlendirme için Denklem (5.9) kullanılır.

$$\bar{s}_j' = \begin{cases} > \bar{1} & \text{eğer } C_j > C_{j+1} \\ = \bar{1} & \text{eğer } C_j = C_{j+1} \\ < \bar{1} & \text{eğer } C_j < C_{j+1} \end{cases} \quad (5.9)$$

$\bar{s}_j'$  karar verici  $r$  tarafından yapılan kriter değerlendirmesini belirtmektedir. Ters Bulanık PIPRECIA uygulaması için de benzer şekilde geometrik ortalama hesaplanarak  $\bar{s}_j'$  matris ortalamasının elde edilmesi gerekmektedir.

**Adım 7:** Denklem (5.10) yardımıyla  $\bar{k}_j'$  katsayısı belirlenir.

$$\bar{k}_j' = \begin{cases} = \bar{1} & \text{eğer } j = n \\ 2 - \bar{s}_j' & \text{eğer } j > n \end{cases} \quad (5.10)$$

**Adım 8:** Denklem (5.11) yardımıyla  $\bar{q}_j'$  bulanık ağırlığı hesaplanır.

$$\bar{q}_j' = \begin{cases} = \bar{1} & \text{eğer } j = n \\ \frac{q_{j+1}'}{\bar{k}_j'} & \text{eğer } j > n \end{cases} \quad (5.11)$$

**Adım 9:** Denklem (5.12) yardımıyla  $\bar{w}_j'$  görelî ağırlığı hesaplanır.

$$\bar{w}_j' = \frac{\bar{q}_j'}{\sum_{j=1}^n \bar{q}_j'} \quad (5.12)$$

**Adım 10:** Kriterlerin nihai ağırlıklarını belirlemek için  $\bar{w}_j$  ve  $\bar{w}_j'$  bulanık değerleri durulaştırılır. Bu yöntemde durulaştırma için GMI (Graded Mean Integrated) yaklaşımı kullanılmakta ve  $(l, m, u)$  şeklindeki üçgen bir bulanık sayı için Denklem (5.13)'ten faydalanılmaktadır. Durulaştırmanın ardından, Denklem (5.14) kullanılarak nihai ağırlıklar hesaplanır [25].

$$DF_{crisp} = \frac{l+4*m+u}{6} \quad (5.13)$$

$$\bar{w}_j'' = \frac{1}{2} (\bar{w}_j + \bar{w}_j') \quad (5.14)$$

**Adım 11:** PIPRECIA ve ters PIPRECIA sonuçlarının tutarlılığı Spearman (elde edilen sıralar için) ve Pearson (elde edilen ağırlıklar için) korelasyon katsayıları ile kontrol edilir.

## 6. TARIM ALANINDA AR-GE PROJELERİ

Ar-Ge; bilimsel ve teknolojik ilerlemeye katkı sağlayacak yeni bilgiler edinmek veya mevcut bilgileri kullanarak yazılım dahil yeni bir sistem, süreç, ürün veya hizmet geliştirmek ya da var olanı iyileştirmek için yürütülen, bilimsel dayanağı olan, özgün, iyileşme odaklı ve sistematik çalışmalar bütünüdür [74].

Ülkelerin uluslararası platformdaki gelişmişlik düzeyini gösteren faktörlerden biri olan Ar-Ge çalışmaları öncelik verilmesi gereken konular arasında yer almaktadır. Bir ülkenin küresel alanda rekabet avantajı ve güç elde edebilmesi, Ar-Ge faaliyetlerine öncelik vermesine, ulusal ve uluslararası alandaki teknoloji trendlerini takip etmesine ve yenilikçi teknolojiler ortaya koymasına bağlıdır. Bu konuda farkındalık bilinci oluşturmak ve işletmeleri Ar-Ge projeleri yapmaya teşvik etmek amacıyla yatırım yapmak isteyen işletmelere Ar-Ge fon desteği sağlanması, Ar-Ge faaliyetlerinin desteklenmesine yönelik stratejik bir plan geliştirilmesi ve bu konuda güçlü karar mekanizmaları olması önemli bir husustur. Ayrıca, günümüz rekabet koşulları, teknolojideki hızlı ilerlemeler ve trendlerdeki hızlı değişimler dikkate alındığında, işletmelerin varlıklarını geliştirerek sürdürebilmeleri için Ar-Ge faaliyetlerine yönelik stratejik bir yol haritası belirlemeleri ve global ölçekte başarılı çıktıları olan çalışmalar ortaya koymaları gerekmektedir.

Ar-Ge faaliyetleri nitelik ve kapsam yönünden temel araştırma, uygulamalı araştırma ve deneysel geliştirme olmak üzere üç grupta incelenmektedir. Temel araştırma, herhangi bir uygulama ya da kullanım olmaksızın var olan bilgiye yenilerini katarak bilgi havuzunu genişletmek için gerçekleştirilen teorik veya deneysel çalışmalardır. Yaygın olarak yükseköğretim kurumlarında gerçekleştirilen bu çalışmaların çıktıları ticari amaçla pek kullanılmaz, burada esas olan çalışmaya konu olan olguların hangi temellere dayandığıyla ilgili daha fazla bilgi edinmek ve bilimsel katkı sağlamaktır. Uygulamalı araştırma ise, yeni bir bilgi elde etmeyi amaçlaması açısından temel araştırmaya benzemekle birlikte, yapılan çalışmaların bir hedefe, pratik bir amaca yönelik olması bakımından ondan farklılık gösterir [75]. Temel araştırma sonucunda elde edilen bilgi birikimi uygulamalı araştırmalarda kullanılarak talepler ve ihtiyaçlar doğrultusunda yeni ürün ve sistemlerin tasarlanmasına veya var olanı geliştirmeye yönelik çalışmalar yürütülür [76]. Deneysel geliştirme ise, temel araştırmada ve/veya pratik uygulama sırasında edinilen bilgilerden

faaydalanarak yeni ürünler ortaya koymaya, sistemler ve hizmetler tasarlamaya veya var olanlar üzerinde ciddi iyileştirmeler yapmaya yönelik sistematik çalışmaları kapsamaktadır [75].

Ar-Ge faaliyetlerinin amaçları ekonomik büyümenin artırılmasını sağlamak, küresel pazarda rekabet avantajı ve kurumun devamlılığını sağlamak, dışa bağımlılığı azaltmak, öz kaynakların kullanımını artırılmak, ihtiyaç ve talebe yönelik yeni teknolojilerin geliştirilmesini planlamak, ulusal ve uluslararası platformda patentlenebilme ve ticarileştirme potansiyeli olan, katma değeri yüksek ürün ve sistemlerin geliştirilmesini sağlamak, kurumun tanınmışlığını artırmak şeklinde sıralanabilir.

Hızlı nüfus artışına bağlı olarak ortaya çıkan küresel gıda sorununa zm getirmek, birim alandan elde edilen verimi artırmak ve doğal kaynakların korunmasını ve etkin bir biçimde kullanımını sağlamak için tarımsal üretim geliştirilerek sürdürülebilirliğini sağlamaya yönelik aksiyonlar alınması ülke ekonomileri açısından önemlidir. Bu doğrultuda gerçekleştirilen tarımsal Ar-Ge faaliyetleri, üretim ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik, verim ve kaliteyi artıran, evre dostu, ekonomik teknolojiler geliştirilmesini hedefleyen çalışmalar olarak ifade edilebilir [77].

Tarımsal Ar-Ge faaliyetlerinin amaçları; bitkisel ve hayvansal üretimde verim ve kaliteyi artırmak, i ve dış pazar taleplerini dikkate alarak yeni çeşit, tür, ırk ve teknoloji geliştirmek, bitki ve hayvan sağlığı ile gıda güvenilirliğini sağlayacak yöntem ve teknikler geliştirmek, doğal kaynakları korumak, ulusal ve uluslararası düzeyde patentlenme ve ticarileştirme potansiyeli olan, katma değeri yüksek ürünler ve teknolojiler geliştirmek, doğal kaynakların korunmasını ve sürdürülebilir bir şekilde kullanımını sağlamak, ekonomik açıdan avantajlı, evre dostu ürün ve sistemler tasarlamak şeklinde sıralanabilir [78].

Kamu sektöründe tarımsal alanda yapılan Ar-Ge alışmaları T.C. Tarım ve Orman Bakanlığına bağlı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM), T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığına bağlı Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu

(TÜBİTAK), Üniversitelerin Gıda Mühendisliği Bölümü ile Ziraat, Veteriner ve Su Ürünleri Fakültelerinde yürütülmektedir. Bunun dışında özel sektörde de yine benzer çalışmalar yürüten kurumlar mevcuttur. Tarım alanında yapılan Ar-Ge çalışmaları; bitki ıslahı ve yetiştirme teknikleri, bitki sağlığı, hayvan ıslahı ve yetiştirme teknikleri, hayvan sağlığı, su ürünleri, gıda ve yem, toprak, su kaynakları ve biyoçeşitlilik ve tarım ekonomisi olarak sekiz başlıkta toplanabilir [78].

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yerli teknolojilere ağırlık vererek dışa bağımlılığı azaltacak, kaynakların daha etkin ve verimli bir biçimde kullanılmasını sağlayacak, ülkemizin global alanda yerini korumasına ve rekabet gücünü artırmasına yardımcı olacak çalışmaların, kamu-üniversite-sanayi iş birliklerini artırıcı projelerin desteklenmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla, Ar-Ge destek programları, halk elinde ıslah programları gibi çalışmalar yürütülmektedir. Tarım sektöründe yerli teknolojiye dayanan ürün ve sistemlerin geliştirilmesi konusunda programlar düzenlenmektedir.

### **Bitki ıslah çalışmaları**

Geçmişten günümüze kadar yaşanan hızlı nüfus artışı ile birlikte gıda ihtiyacı artmış, buna bağlı olarak tarımsal üretimin artırılması ve sürdürülebilir bir tarımsal-gıda tedarik zinciri oluşturulması yönünde çalışmalar yürütülmesi daha da önem kazanmıştır. Tarımsal üretimin önemli unsurlarından biri olan ıslah çalışmaları, kalıtım yoluyla bitki ve hayvanların genetik yapısının değiştirilerek daha yüksek kalite ve verimde bitki çeşitleri ve hayvan ırkları elde etmek amacıyla gerçekleştirilen faaliyetlerdir. Ar-Ge projesi kapsamında değerlendirilen bu çalışmalar ile ekonomik açıdan avantajlı, verimli ve nitelikli türler geliştirilerek tarımsal üretimin artırılması ve ekonomik büyümeye katkı sağlanması hedeflenmektedir [79].

Bitki ıslahı ise, ekonomik değere sahip bitki cins, tür ve çeşitlerinin kalıtsal yapısını talep ve ihtiyaçlar doğrultusunda planlı olarak değiştiren ve iyileştiren bir disiplindir [80]. Tarımsal üretimin devamlılığı için temel unsurlardan biri olan bitki ıslah çalışmalarının asıl amacı ihtiyaçlar doğrultusunda kalıtım yoluyla yeni genetik kombinasyonlar oluşturarak verim ve kalite bakımından öne çıkan, hastalık ve zararlılara dayanıklı, yerel iklim ve toprak koşullarına adaptasyon yeteneği yüksek yeni bireyler elde etmektir [81].

Ayrıca bu çalışmalar ile mevcut gen kaynaklarının korunması ve genetik çeşitliliğin artırılması da hedeflenmektedir. Bitki ıslah yöntemleri klasik ıslah yöntemleri ve yeni nesil ıslah yöntemleri olarak ikiye ayrılmaktadır. Seleksiyon, melezleme, mutasyon, introdüksiyon ve poliploidi klasik ıslah yöntemleri olarak geçmekle birlikte son dönemlerde biyoteknoloji ve genetik biliminden faydalanılarak ıslah sürecini kısaltmaya ve iyileştirmeye yönelik yeni nesil ıslah yöntemleri de kullanılmaktadır. Bazı bitki ıslah yöntemleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

**Seleksiyon:** Doğal melezleme ve mutasyonlara bağlı olarak genetik değişime uğrayan popülasyon içerisinde ıslah amaçları doğrultusunda aranan özelliklere sahip bitki veya bitki gruplarının seçim işlemidir. Diğer yöntemlerin aksine bu yöntemde herhangi bir genetik varyasyon oluşturulmadan direkt olarak doğadaki doğal varyasyondan faydalanılır [80, 82].

**Melezleme:** İki ya da daha fazla sayıdaki çeşit, tür ya da hatta bulunan ve ıslah amacına uygun özellikleri bir çeşitte toplamak ve yeni bir karakter kombinasyonu elde etmek için yapılan işlemlerdir [80].

**Mutasyon Islahı:** Genetik materyalin iyi özelliklerini koruyarak bir ya da birkaç özelliğinin değiştirilmesiyle yapılan iyileştirmeye mutasyon ıslahı denir. Mevcut çeşit veya hattın bir ya da iki özelliği iyileştirilmek istendiğinde mutasyonlar bitki ıslahında kullanılmaktadır [83].

**İntrodüksiyon:** Diğer adı “Tohumluk Getirme” olan bu yöntem, çalışma yapılan bölgenin toprak ve iklim şartlarına uyum gösterebilecek, ekonomik açıdan öneme sahip, yüksek kalite ve verimlilikteki bitkilerin yurt dışından getirilmesini içerir [80, 84].

**Poliploidi:** Canlı organizmaların kromozom sayılarındaki değişime “ploidi”, somatik hücrelerdeki kromozom takım sayısının ikiden fazla olması durumuna “Poliploidi” denir [85].

## 7. BULANIK PIPRECIA VE HTEA ENTEGRE YÖNTEMİ İLE RİSK ANALİZİ UYGULAMASI

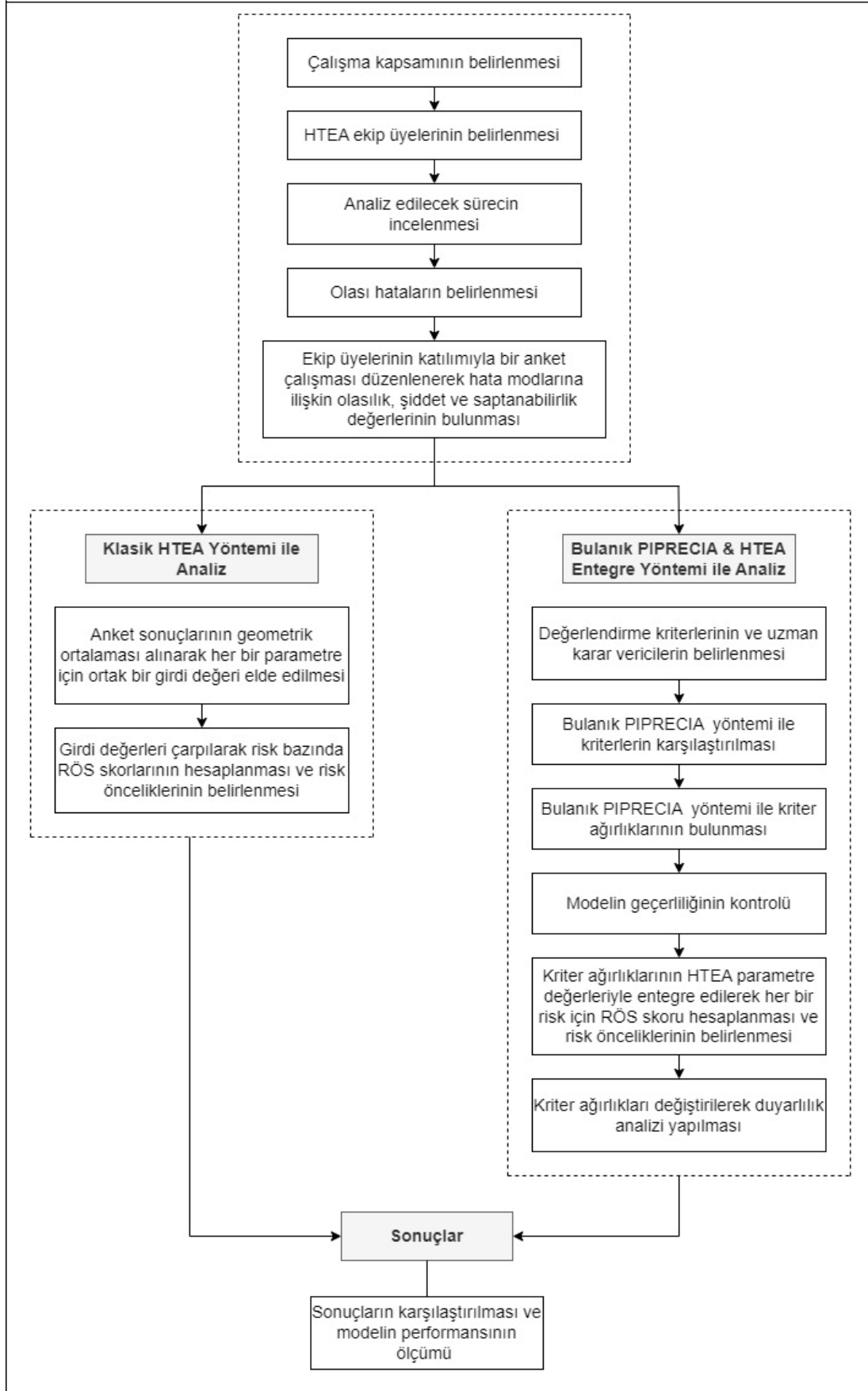
Doğal kaynakların giderek tükenmesi, artan gıda ihtiyacı, genetik kaynaklardaki azalma gibi faktörler göz önünde bulundurulduğunda tarımsal üretimin devamlılığını sağlamak için çevresel ve biyolojik koşullara dayanımı yüksek bitki çeşitlerinin geliştirilmesi ülke ekonomileri açısından giderek daha da önemli bir hal almaktadır. Bu amaçla gerçekleştirilen bitki ıslah çalışmaları, hastalıklara dayanıklı, verimli, kaliteli ve çevresel stres koşullarına dayanıklı bitki çeşitleri elde etmek için mevcut bitki tür ve çeşitlerinin kalıtım yoluyla değiştirilmesi ve geliştirilmesi işlemi olarak tanımlanabilir. Esas amacı tarımsal üretimin devamlılığı olan ve kısıtlı bir zaman ve bütçe çerçevesinde gerçekleştirilen bu çalışmalar sırasında yaşanan ufak bir zafiyet, mali olarak ve zaman açısından büyük kayıplara, tohum sertifikası alınması ve tohumun ticarileştirilmesi noktasında problemler yaşanmasına yol açmaktadır. Islah çalışmaları sırasında kullanılan materyalin yurt dışından getirilme maliyeti, arazi koşulları, bazı işlemlerin insan gücüne dayanması vb. unsurlar dikkate alındığında bu çalışmalar sırasındaki potansiyel risklerin tanımlanarak sistematik biçimde analiz edilmesi ve risk önceliklerinin belirlenerek yüksek riskli alanlar için proaktif önlemler alınması, öz kaynakların, zamanın ve bütçenin verimli bir şekilde kullanılması açısından önemlidir.

Bu uygulamada, tarımsal Ar-Ge faaliyetleri yürüten bir kurumda buğday ve arpa bitki ıslah süreçlerinde yaşanan risklerin tanımlanması, önceliklendirilmesi ve yüksek risk barındıran alanların belirlenmesi amacıyla HTEA & Bulanık PIPRECIA entegre uygulaması gerçekleştirilerek klasik yaklaşımının etkinliği ve objektifliği artırılmıştır.

Uygulama kapsamında, çalışmanın kapsamı belirlendikten sonra öncelikle riskleri belirlemek ve değerlendirmek üzere 9 kişilik bir HTEA ekibi oluşturulmuş ve incelenecek süreçler tanımlanmıştır. Süreçler belirlendikten sonra, ekip üyeleri ile düzenli toplantılar düzenlenerek ve beyin fırtınası yapılarak süreçlerdeki riskler belirlenmiştir. Her bir olası hatanın sebebi, etkileri ve hatayı önlemek için yapılan mevcut kontroller tespit edilmiş, HTEA formu oluşturulmuştur. Ardından, bu formlar ekip üyelerine dağıtılarak risk unsurları için olasılık, şiddet, saptanabilirlik değerleri bulunmuştur. Klasik HTEA yaklaşımından farklı olarak çalışmanın bir sonraki kısmında klasik yaklaşımdaki



objektifliği artırmak, daha esnek bir model elde etmek için bulanık mantık yaklaşımına yer verilmiş olup yöntem olarak da yeni geliştirilen Bulanık PIPRECIA yönteminden faydalanılmıştır. Bu kapsamda, klasik HTEA'deki bir eksiklik olan ekip üyeleri tarafından yapılan puanlamanın eşit önemde olduğunun varsayılması problemine çözüm getirmek amacıyla bölüm yöneticilerinden oluşan 3 kişilik uzman karar verici belirlenerek bu uzmanların görüşleri doğrultusunda ekip üyeleri Bulanık PIPRECIA yöntemiyle değerlendirilmiş ve RÖS hesaplamalarında kullanılmak üzere her birine bir ağırlık atanmıştır. Yapılan değerlendirmelerde ekip üyelerinin bitki ıslah bilgileri ve arazi tecrübeleri esas alınmıştır. Daha sonra, bu ağırlıklar uzman değerlendiricilerin vermiş oldukları olasılık, şiddet ve saptanabilirlik puanlarıyla çarpılmış, ardından bu değerlerin geometrik ortalaması alınarak her bir risk için nihai parametre değerleri elde edilmiş ve risk bazında RÖS skorları hesaplanarak risk öncelikleri belirlenmiştir. Son olarak ise, kriterlerin ağırlıkları değiştirilerek duyarlılık analizi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Önerilen metodolojiye ilişkin akış şeması Şekil 7.1.'deki gibi olup uygulama adımları aşağıda detaylı bir biçimde açıklanmıştır.



Şekil 7.1. Önerilen Metodolojiye Ait Akış Şeması

## **HTEA Kapsamı ve Ekip Üyelerinin Belirlenerek Uygulama Yapılacak Sürecin İncelenmesi**

HTEA kapsamında, ilk olarak uzmanlarla görüşmeler yapılarak geniş bir yelpazesi olan bitki ıslah çalışmalarındaki arpa ve buğday bitkilerinin ıslah süreçleri sırasında yaşanan risklerin analize konu edilmesi kararlaştırılmıştır. Çalışmada buğday ve arpa bölümlerinin ele alınmasının sebebi buğday ve arpanın ülke ekonomisi açısından büyük öneme sahip ve ekmek, makarna gibi temel gıda maddelerinin temel kaynağı olması ve buradaki ufak bir zafiyetin ciddi kayıplara yol açma olasılığının bulunmasıdır.

Analiz kapsamı belirlendikten sonra, incelenen arpa ve buğday süreçlerindeki riskleri belirlemek ve analiz etmek için ıslah bilgisine sahip ve arazi deneyimi olan 3 arpa ve 6 buğday ıslahçısından oluşan 9 kişilik bir ekip oluşturulmuştur.

Ardından, risklerin daha iyi analiz edilebilmesi adına ıslah süreci melezleme, ekim, kültürel işlemler, yabancı gezimi, hasat ve tohum temizliği olmak üzere 6 alt sürece ayrılmış ve süreçlere ilişkin detaylı bilgiler aşağıda paylaşılmıştır.

- 1) Melezleme: Genetik materyalin genetik yapısı değiştirilerek iyileştirme yapılan aşamadır.
- 2) Ekim: Tohumun belirlenmiş miktar, derinlik ve sıklıkta ve belirli bir zaman aralığında toprağın altına gömülmesi işlemidir.
- 3) Kültürel İşlemler: Ekini yabancı otlardan arındırmak için yapılan işlemleri, gübreleme gibi faaliyetleri içerir.
- 4) Yabancı Gezimi: Yabancı türlerin ayrıştırıldığı aşamadır.
- 5) Hasat: Olgunlaşma sürecini tamamlamış ürünlerin en doğru zamanda uygun yöntemle toplandığı aşamadır.
- 6) Tohum Temizliği: Hasat edilen tohumdan yabancı maddelerin ayrıştırıldığı evreyi temsil eder.

## Olası Hata Türlerinin, Nedenlerinin ve Etkilerinin Tanımlanması

Süreçler belirlendikten sonra ekip üyeleri ile toplantılar düzenlenerek ve beyin fırtınası yapılarak süreçlerdeki riskler belirlenmiş, her bir olası hatanın sebebi, etkileri ve hatayı önlemek için yapılan mevcut kontroller tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirmede 6 farklı alt süreç basamağı için toplamda 27 adet potansiyel hata belirlenmiş olup tanımlanan hatalar Çizelge 7.1. ve Çizelge 7.2.'de gösterilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda Ek 1'de yer alan HTEA anket formu hazırlanmıştır.

Çizelge 7.1. Potansiyel Hata Modları

Hata No	Potansiyel Hata Modu
1	Materyal temininde aksaklıklar yaşanması
2	Melezleme için alet ve ekipmanın yetersizliği (cımbız, makas)
3	Arazide salyangozların melez kağıdını yemesi
4	Kalifiye ara eleman yetersizliği (tekniker eksikliği)
5	Kuşların kese kağıdını yemesi
6	Melez döneminde yağmur yağması
7	Çalışanlarda melezleme sırasında eğilmeye, ağır taşımaya bağlı kas iskelet sistemi rahatsızlıkları oluşması
8	Traktörün ve mibzerin ekim öncesinde veya ekim sırasında bozulması
9	Deneme parselasyonunun yanlış yapılması
10	Deneme kağıdının tohumluktan sırayla alınmaması
11	Mibzerin tıkanması
12	Tohumun atılması gereken parselde atılmayıp üst üste tohum atılması
13	Deneme yerinin boş zannedilip üçüncü kişiler tarafından kullanılması
14	Rotovatörün düzgün bir şekilde çekilmemesi
15	Deneme kurulan arazilerde uygun dinlenme alanlarının olmaması
16	Deneme kurulan yerlerde duş, lavabo olmaması

## Çizelge 7.2. Potansiyel Hata Modları (devam)

Hata No	Potansiyel Hata Modu
17	Gübre fiyatlarının yüksek olması
18	Gübrenin olması gerekenden fazla kullanılması
19	Bitkinin otlanması sonucu parsellerin kaybedilmesi
20	İşçilerin bitkilerin çeşidini ayırt etmekte zorlanmaları
21	Yabancı gezim döneminde yağmur yağması
22	Hasat makinelerinin eski olması
23	Hasat işleminin insan gücüyle yapılması
24	Konaklama yeri ile tarla arasında mesafe olması
25	Tohum temizliği yapacak kalifiye personelin eksikliği
26	Tohum temizliğinin elle yapılması
27	Tohum temizliği sırasında işçilerin farklı türdeki materyalleri ayırt etmede zorlanmaları

### Parametre Değerlerinin Bulunması

Bu aşamada, hedef kitlesi HTEA ekibinde bulunan buğday ve arpa ıslahçıları olan HTEA anket formu her bir üyeye dağıtılmış ve değerlendiricilerden risklere ilişkin olasılık, şiddet ve saptanabilirlik parametreleri için puanlama yapmaları istenmiştir. Olasılık değeri belirlenirken Çizelge 3.1., Şiddet değeri belirlenirken Çizelge 3.2. ve Saptanabilirlik değeri belirlenirken Çizelge 3.3.'te bulunan değerlendirme ölçütleri dikkate alınmıştır.

### Klasik HTEA Yöntemi ile RÖS Skorlarının Bulunması

Risklere ilişkin parametre skor değerleri belirlendikten sonra, değerlendiriciler tarafından yapılan puanlamaların geometrik ortalaması alınarak her bir riske karşılık gelen olasılık, şiddet ve saptanabilirlik faktörleri için ortak bir değer elde edilmiştir. Daha sonra, bulunan bu değerler çarpılarak RÖS değerleri bulunmuş olup bu hesaplamalara ilişkin tablolar Ek 1'de paylaşılmıştır.

## Bulanık PIPRECIA ile HTEA Ekip Üyelerinin Ağırlıklandırılması

Çalışmanın bu bölümünde, Klasik HTEA yönteminin zayıflıklarından biri olan tüm ekip üyelerinin yaptıkları puanlamanın ağırlığının eşit ve 1 olarak kabul edilmesi durumuna çözüm getirmek adına bulanık bir yaklaşımla her bir değerlendirici kendi içinde ağırlıklandırılmış, 3 kişilik karar verici bir ekibin görüşleri doğrultusunda Bulanık PIPRECIA yöntemiyle değerlendirme yapılarak HTEA ekip üyelerinin her birine ağırlık ataması yapılmıştır. Değerlendirme yapılırken arpa ve buğday bölümünden 2 yöneticinin ve 1 kıdemli mühendisin görüşü ve değerlendirme ölçütü olarak ise ıslahçıların ıslah bilgileri ve arazi deneyimleri dikkate alınmıştır. Ağırlıklar belirlenirken bulanık tabanlı bir yöntem kullanılmasındaki amaç; öznellikten kaynaklı zayıflığı minimize etmek ve daha esnek, daha objektif bir model önermektir. Bu kapsamda, ilk olarak HTEA ekibindeki uzmanlar birer kriter gibi düşünülerek bu kriterler için önemleri dikkate alınmaksızın bir sıralama belirlenmiş ve uzmanları ıslah bilgileri ve arazi deneyimlerine göre değerlendirmek üzere bölüm yöneticilerinden oluşan 3 kişilik karar verici bir ekip oluşturulmuştur. Belirlenen karar vericilere ilişkin bilgiler Çizelge 7.3.'te paylaşılmıştır. Ardından, Çizelge 5.1. ve Çizelge 5.2.'deki üçgen bulanık ölçütlerden faydalanılarak kriterler her karar verici tarafından ayrı ayrı Bulanık PIPRECIA ve Ters Bulanık PIPRECIA metodolojileri doğrultusunda değerlendirilmiştir. 3 karar vericinin buğday ıslahçıları (B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7) ve arpa ıslahçıları (A1,A2,A3) için yapmış oldukları değerlendirmeler ve sonraki hesaplamalarda kullanılmak üzere bulunan geometrik ortalamalar (GM) Çizelge 7.4. ve Çizelge 7.6.'da gösterilmektedir.

Çizelge 7.3. Karar Vericilere İlişkin Bilgiler

	Unvan	Tecrübe
DM1	Buğday Bölüm Yöneticisi	28 Yıl
DM2	Arpa Bölüm Yöneticisi	28 Yıl
DM3	Kıdemli Mühendis	22 Yıl

Değerlendirme tabloları oluşturulduktan sonra sırasıyla Bulanık PIPRECIA ve Ters Bulanık PIPRECIA yöntem adımları uygulanmaktadır. Buğday grubu için yapılan hesaplamalara ilişkin detaylar aşağıda paylaşılmıştır.

Öncelikle, herhangi bir sınıflandırma olmaksızın ve göreceli önem seviyeleri dikkate alınmaksızın sıralanan ekip üyeleri Çizelge 5.1. ve Çizelge 5.2'deki bulanık ölçütler dikkate alınarak 3 karar verici tarafından değerlendirilmiş, sonuçlar Çizelge 7.4'te paylaşılmıştır. Değerlendirme sonuçları elde edildikten sonra sırasıyla aşağıdaki işlemler uygulanmıştır.

Çizelge 7.4.'teki Bulanık PIPRECIA değerlendirmelerine ve geometrik ortalamalara (GM) dayanarak ve Denklem (5.5)'ten faydalanılarak  $\bar{s}_j$  matrisi oluşturulur.

$$\bar{s}_j = \begin{bmatrix} \dots & & \\ 0,874 & 1,000 & 1,033 \\ 0,457 & 0,606 & 0,737 \\ 0,874 & 1,000 & 1,033 \\ 0,650 & 0,690 & 0,749 \\ 0,630 & 0,659 & 0,716 \end{bmatrix}$$

Denklem (5.6)'ya göre  $\bar{k}_1, \bar{k}_2, \dots, \bar{k}_6$  vektörleri elde edilir.  $\bar{k}_1 = (1,000, 1,000, 1,000)$ , ... ,  $\bar{k}_6 = (1,284, 1,341, 1,370)$  olarak bulunur ve  $\bar{k}_j$  matrisi oluşturulur.

$$\bar{k}_j = \begin{bmatrix} 1,000 & 1,000 & 1,000 \\ 0,967 & 1,000 & 1,126 \\ 1,263 & 1,394 & 1,543 \\ 0,967 & 1,000 & 1,126 \\ 1,251 & 1,310 & 1,350 \\ 1,284 & 1,341 & 1,370 \end{bmatrix}$$

Denklem (5.7)'ye göre  $\bar{q}_1, \bar{q}_2, \dots, \bar{q}_6$  vektörleri elde edilir.  $\bar{q}_1 = (1,000, 1,000, 1,000)$ , ... ,  $\bar{q}_6 = (0,276, 0,408, 0,527)$  olarak bulunur ve  $\bar{q}_j$  matrisi oluşturulur.

$$\bar{q}_j = \begin{bmatrix} 1.000 & 1.000 & 1.000 \\ 0.888 & 1.000 & 1.034 \\ 0.575 & 0.717 & 0.819 \\ 0.511 & 0.717 & 0.847 \\ 0.379 & 0.548 & 0.677 \\ 0.276 & 0.408 & 0.527 \end{bmatrix}$$

Denklem (5.8)'e göre  $\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_6$  vektörleri elde edilir.  $\bar{w}_1 = (0,204, 0,228, 0,276)$ ,  
 $\dots, \bar{w}_6 = (0,056, 0,093, 0,145)$  olarak bulunur ve  $\bar{w}_j$  matrisi oluşturulur.

$$\bar{w}_j = \begin{bmatrix} 0,204 & 0,228 & 0,276 \\ 0,181 & 0,228 & 0,285 \\ 0,117 & 0,163 & 0,226 \\ 0,104 & 0,163 & 0,233 \\ 0,077 & 0,125 & 0,186 \\ 0,056 & 0,093 & 0,145 \end{bmatrix}$$

Kriterlerin nihai ağırlıklarını belirlemek için, Bulanık PIPRECIA yöntem adımlarının yanı sıra, Ters Bulanık PIPRECIA metodolojisinin de uygulanması gerekmektedir. Bu doğrultuda, kriterler sondan başa doğru sıralanarak Çizelge 5.1. ve Çizelge 5.2'deki bulanık ölçütler dikkate alınarak 3 karar verici tarafından değerlendirilmiş, sonuçlar Çizelge 7.4'te paylaşılmıştır. Değerlendirme sonuçları elde edildikten sonra Çizelge 7.4.'teki Ters Bulanık PIPRECIA değerlendirmelerine ve geometrik ortalamalara (GM) dayanarak ve Denklem (5.9)'dan faydalanılarak  $\bar{s}_j'$  matrisi oluşturulur.

$$\bar{s}_j' = \begin{bmatrix} 1,129 & 1,191 & 1,242 \\ 1,197 & 1,294 & 1,344 \\ 1,163 & 1,242 & 1,293 \\ 0,931 & 1,098 & 1,129 \\ 1,129 & 1,191 & 1,242 \\ \dots & & \end{bmatrix}$$

Denklem (5.10)'a göre  $\bar{k}_1', \bar{k}_2', \dots, \bar{k}_6'$  vektörleri elde edilir.  $\bar{k}_6' = (1,000, 1,000, 1,000)$ ,  
 $\dots, \bar{k}_1' = (0,758, 0,809, 0,871)$  olarak bulunur.



$$\overline{k}_j' = \begin{bmatrix} 0,758 & 0,809 & 0,871 \\ 0,656 & 0,706 & 0,803 \\ 0,707 & 0,758 & 0,837 \\ 0,871 & 0,902 & 1,069 \\ 0,758 & 0,809 & 0,871 \\ 1,000 & 1,000 & 1,000 \end{bmatrix}$$

Denklem (5.11)'e göre  $\overline{q}_1', \overline{q}_2', \dots, \overline{q}_6'$  vektörleri elde edilir.  $\overline{q}_6' = (1,000, 1,000, 1,000)$ ,  $\dots, \overline{q}_1' = (1,836, 3,168, 4,305)$  olarak bulunur.

$$\overline{q}_j' = \begin{bmatrix} 1,836 & 3,168 & 4,305 \\ 1,599 & 2,562 & 3,265 \\ 1,284 & 1,808 & 2,141 \\ 1,074 & 1,370 & 1,514 \\ 1,148 & 1,236 & 1,318 \\ 1,000 & 1,000 & 1,000 \end{bmatrix}$$

Ters Bulanık PIPRECIA yöntemi için bağıl ağırlıkların elde edilmesi amacıyla Denklem (5.12) kullanılarak hesaplama yapılarak  $\overline{w}_6' = (0,074, 0,090, 0,126)$ ,  $\dots, \overline{w}_1' = (0,136, 0,284, 0,542)$  olarak bulunur.

$$\overline{w}_j' = \begin{bmatrix} 0,136 & 0,284 & 0,542 \\ 0,118 & 0,230 & 0,411 \\ 0,095 & 0,162 & 0,270 \\ 0,079 & 0,123 & 0,191 \\ 0,085 & 0,111 & 0,166 \\ 0,074 & 0,090 & 0,126 \end{bmatrix}$$

Tüm bu işlemlerin ardından, Bulanık PIPRECIA ve Ters Bulanık PIPRECIA uygulaması sonucu elde edilen bulanık ağırlıklar Denklem (5.13) yardımıyla durulaştırılarak kesin değerler elde edilmiştir. Buğday Birimi için Bulanık PIPRECIA ve Ters Bulanık PIPRECIA uygulama sonuçları Çizelge 7.5.'te sunulmuştur.

Benzer şekilde Arpa bölümü için de aynı uygulama adımları uygulanmış olup arpa birimi için Bulanık PIPRECIA ve Ters Bulanık PIPRECIA uygulama sonuçları Çizelge 7.7'de paylaşılmıştır.

Çizelge 7.4. Buğday Birimi için Değerlendirmeler

PIPR.	B1	B2		B3		B4		B5		B6					
<b>DM1</b>	1,000	1,000	1,050	0,500	0,667	1,000	1,000	1,000	1,050	1,000	1,000	1,050	1,000	1,000	1,050
<b>DM2</b>	0,667	1,000	1,000	0,286	0,333	0,400	1,000	1,000	1,050	0,250	0,286	0,333	0,250	0,286	0,333
<b>DM3</b>	1,000	1,000	1,050	0,667	1,000	1,000	0,667	1,000	1,000	1,100	1,150	1,200	1,000	1,000	1,050
<b>GM</b>	0,874	1,000	1,033	0,457	0,606	0,737	0,874	1,000	1,033	0,650	0,690	0,749	0,630	0,659	0,716
PIPR-I	B6	B5		B4		B3		B2		B1					
<b>DM1</b>	1,200	1,300	1,350	1,100	1,150	1,200	1,100	1,150	1,200	1,100	1,150	1,200	1,200	1,300	1,350
<b>DM2</b>	1,200	1,300	1,350	1,100	1,150	1,200	1,300	1,450	1,500	1,200	1,300	1,350	1,200	1,300	1,350
<b>DM3</b>	1,000	1,000	1,050	0,667	1,000	1,000	1,100	1,150	1,200	1,300	1,450	1,500	1,000	1,000	1,050
<b>GM</b>	1,129	1,191	1,242	0,931	1,098	1,129	1,163	1,242	1,293	1,197	1,294	1,344	1,129	1,191	1,242

Çizelge 7.5. Buğday Birimi Uygulama Sonuçları

PIPRECIA	Sj		kj		qj		wj		DF				
<b>B1</b>			1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,204	0,228	0,276	0,232		
<b>B2</b>	0,874	1,000	1,033	0,967	1,000	1,126	0,888	1,000	1,034	0,181	0,228	0,285	0,230
<b>B3</b>	0,457	0,606	0,737	1,263	1,394	1,543	0,575	0,717	0,819	0,117	0,163	0,226	0,166
<b>B4</b>	0,874	1,000	1,033	0,967	1,000	1,126	0,511	0,717	0,847	0,104	0,163	0,233	0,165
<b>B5</b>	0,650	0,690	0,749	1,251	1,310	1,350	0,379	0,548	0,677	0,077	0,125	0,186	0,127
<b>B6</b>	0,630	0,659	0,716	1,284	1,341	1,370	0,276	0,408	0,527	0,056	0,093	0,145	0,096
PIPRECIA - I	sj'		kj'		qj'		wj'		DF				
<b>B1</b>	1,129	1,191	1,242	0,758	0,809	0,871	1,836	3,168	4,305	0,136	0,284	0,542	0,302
<b>B2</b>	1,197	1,294	1,344	0,656	0,706	0,803	1,599	2,562	3,265	0,118	0,230	0,411	0,241
<b>B3</b>	1,163	1,242	1,293	0,707	0,758	0,837	1,284	1,808	2,141	0,095	0,162	0,270	0,169
<b>B4</b>	0,931	1,098	1,129	0,871	0,902	1,069	1,074	1,370	1,514	0,079	0,123	0,191	0,127
<b>B5</b>	1,129	1,191	1,242	0,758	0,809	0,871	1,148	1,236	1,318	0,085	0,111	0,166	0,116
<b>B6</b>				1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,074	0,090	0,126	0,093

Çizelge 7.6. Arpa Birimi için Değerlendirmeler

<b>PIPR.</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>			<b>C3</b>		
<b>DM1</b>	1,000	1,000	1,050	0,500	0,667	1,000	
<b>DM2</b>	1,300	1,450	1,500	0,286	0,333	0,400	
<b>DM3</b>	1,100	1,150	1,200	0,500	0,667	1,000	
<b>GM</b>	1,127	1,186	1,236	0,415	0,529	0,737	
<b>PIPR - I</b>	<b>C3</b>	<b>C2</b>			<b>C1</b>		
<b>DM1</b>	1,300	1,450	1,500	1,100	1,150	1,200	
<b>DM2</b>	1,400	1,600	1,650	0,286	0,333	0,400	
<b>DM3</b>	1,200	1,300	1,350	1,000	1,000	1,050	
<b>GM</b>	1,297	1,445	1,495	0,680	0,726	0,796	

Çizelge 7.7. Arpa Birimi Uygulama Sonuçları

<b>PIPRECIA</b>	<b>Sj</b>			<b>kj</b>			<b>qj</b>			<b>wj</b>		<b>DF</b>	
<b>A1</b>				1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,299	0,326	0,349	0,326
<b>A2</b>	1,127	1,186	1,236	0,764	0,814	0,873	1,145	1,228	1,310	0,342	0,401	0,457	0,400
<b>A3</b>	0,415	0,529	0,737	1,263	1,471	1,585	0,722	0,835	1,037	0,216	0,273	0,362	0,278
<b>PIPRECIA - I</b>	<b>sj'</b>			<b>kj'</b>			<b>qj'</b>			<b>wj'</b>		<b>DF</b>	
<b>A1</b>	0,680	0,726	0,796	1,204	1,274	1,320	1,078	1,414	1,644	0,233	0,335	0,470	0,341
<b>A2</b>	1,297	1,445	1,495	0,505	0,555	0,703	1,423	1,801	1,980	0,308	0,427	0,565	0,430
<b>A3</b>				1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,216	0,237	0,286	0,242

Sonuçlar elde edildikten sonra, durulaştırılmış iki değerin ortalaması alınarak Denklem (5.14) yardımıyla her bir kriter için nihai ağırlıklar ve sıralamalar elde edilmiş, buğday ve arpa birimi için hesaplanan nihai kriter ağırlıkları Çizelge 7.8. ve Çizelge 7.9.'da sunulmuştur.

Çizelge 7.8. Kriterlerin Nihai Ağırlıkları (Buğday Birimi)

Kriter	PIPR. wj	PIPR. Sıra	PIPR-I wj	PIPR-I Sıra	Nihai wj	Nihai Sıra
B1	0,232	1	0,302	1	0,267	1
B2	0,230	2	0,241	2	0,236	2
B3	0,166	3	0,169	3	0,167	3
B4	0,165	4	0,127	4	0,146	4
B5	0,127	5	0,116	5	0,121	5
B6	0,096	6	0,093	6	0,094	6

Çizelge 7.9. Kriterlerin Nihai Ağırlıkları (Arpa Birimi)

Kriter	PIPR. wj	PIPR. Sıra	PIPR-I wj	PIPR-I Sıra	Nihai wj	Nihai Sıra
A1	0,326	2	0,341	2	0,333	2
A2	0,400	1	0,430	1	0,415	1
A3	0,278	3	0,242	3	0,260	3

Yöntemin son adımı modelin geçerliliğinin test edildiği aşamadır. Bu kapsamda, Bulanık PIPRECIA ve Ters Bulanık PIPRECIA sıralamaları arasındaki korelasyona bakmak için Spearman, ağırlıklar arasındaki tutarlılığı test etmek için ise Pearson korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Spearman korelasyon katsayısı incelendiğinde, arpa ve buğday birimi için sıralamaların aynı olduğu ve korelasyon katsayısının 1 olduğu görülmüştür. Pearson korelasyon katsayısı arpa birimi için 0,988, buğday birimi için ise 0,935 olarak hesaplanmıştır. Arpada kriter sayısının az olması nedeniyle anlamlılık testi incelenmemiş, buğday için anlamlılık test edilmiş ve  $p=0,006$  olarak hesaplanarak 0,05 düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

## **Bulanık PIPRECIA Tabanlı HTEA Yöntemi ile Parametre Değerlerinin ve RÖS Skorunun Bulunması**

Model doğrulandıktan sonra uzman değerlendiricilerin her biri için bulunan kriter ağırlığı, o uzman değerlendiricinin olasılık, şiddet ve saptanabilirlik parametreleri için vermiş oldukları puanlarla çarpılmış, ardından bu değerlerin geometrik ortalaması alınarak her bir riske ait olasılık, şiddet ve saptanabilirlik metrikleri için ortak bir değer elde edilmiştir. Daha sonra ise, bu değerler çarpılarak risk bazında RÖS skorları hesaplanarak risk öncelikleri belirlenmiştir. Bütünleşik yöntemle yapılan hesaplamalara ilişkin veriler ve nihai RÖS değerleri Ek 2’de paylaşılmıştır.

## **Bulanık PIPRECIA & HTEA Entegrasyon Yöntemi ile Ağırlık Hesaplama**

Risklere ilişkin parametre skor değerleri belirlendikten sonra, değerlendiriciler tarafından yapılan puanlamaların geometrik ortalaması alınarak her bir riske karşılık gelen olasılık, şiddet ve saptanabilirlik parametreleri için ortak bir değer elde edilmiştir. Daha sonra, bulunan bu değerler çarpılarak RÖS değerleri bulunmuş olup bu hesaplamalara ilişkin tablolar Ek 2’de paylaşılmıştır.

## **Duyarlılık Analizi**

Son olarak, modelin geçerliliğini doğrulamak için duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu kapsamda, buğday ve arpa birimi için en fazla önem ağırlığına sahip kriterlerin ağırlıkları belirli oranlarda azaltılarak modelin değişikliklere duyarlılığı ölçülmüştür. Bu amaçla, sırasıyla buğday ve arpa birimleri için en önemli kriterler olan B1 ve A2 kriterlerinin ağırlıkları %5, %10, %20, %30 ve %50 oranlarında azaltılmış ve bunun üzerinden diğer kriter ağırlıkları da aşağıdaki formül kullanılarak yeniden düzenlenmiştir. Ardından ise, benzer şekilde Spearman ve Pearson korelasyon katsayılarına bakılarak modellerin gücü değerlendirilmiştir. Buğday ve arpa birimleri için farklı senaryolar sonucu elde edilen sıralamalar ve korelasyon katsayıları Çizelge 7.10., Çizelge 7.11., Çizelge 7.12. ve Çizelge 7.13.’te paylaşılmıştır.

$$W_{n\beta} = (1 - W_{n\alpha}) \frac{W_{\beta}}{(1 - W_n)} \quad (5.15)$$

Yukarıdaki denklem (5.15) teki  $W_n$  ağırlığı değiştirilen kriterin orijinal ağırlığını,  $W_{n\alpha}$  ağırlığı değiştirilen kriterin azaltılmış son ağırlığını,  $W_{\beta}$  ağırlığı bulunmak istenen kriterin orijinal ağırlığını ve  $W_{n\beta}$  ise ağırlığı bulunmak istenen kriterin ayarlanmış ağırlığını ifade eder [28, 86].

Çizelge 7.10. Buğday Grubu İçin Duyarlılık Analizi ile Elde Edilen Ağırlıklar

Kriter	Orijinal Ağırlıklar		1.Senaryo (% 5)		2.Senaryo (% 10)		3.Senaryo (% 20)		4.Senaryo (% 30)		5.Senaryo (% 50)	
	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I
B1	0,232	0,302	0,220	0,287	0,209	0,272	0,185	0,242	0,162	0,212	0,116	0,151
B2	0,230	0,241	0,230	0,241	0,230	0,241	0,230	0,241	0,230	0,241	0,230	0,241
B3	0,166	0,169	0,166	0,169	0,180	0,169	0,206	0,189	0,166	0,169	0,166	0,169
B4	0,165	0,127	0,165	0,127	0,165	0,127	0,165	0,127	0,165	0,127	0,165	0,127
B5	0,127	0,116	0,127	0,116	0,127	0,116	0,127	0,116	0,127	0,116	0,127	0,116
B6	0,096	0,093	0,096	0,093	0,096	0,093	0,096	0,093	0,096	0,093	0,096	0,093
<b>PCC</b>	<b>0,935</b>		<b>0,926</b>		<b>0,907</b>		<b>0,876</b>		<b>0,874</b>		<b>0,884</b>	

Çizelge 7.11. Buğday Grubu İçin Duyarlılık Analizi ile Elde Edilen Sıralamalar

Kriter	Orijinal Sıralama		1.Senaryo		2.Senaryo		3.Senaryo		4.Senaryo		5.Senaryo	
	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I
B1	1	1	2	1	2	1	3	1	4	2	5	3
B2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1
B3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	2	2
B4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4
B5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5
B6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
<b><math>\rho</math></b>	<b>1,000</b>		<b>0,943</b>		<b>0,943</b>		<b>0,829</b>		<b>0,829</b>		<b>0,829</b>	

Çizelge 7.12. Arpa Grubu İçin Duyarlılık Analizi ile Elde Edilen Ağırlıklar

Kriter	Orijinal Ağırlıklar		1.Senaryo (% 5)		2.Senaryo (% 10)		3.Senaryo (% 20)		4.Senaryo (% 30)		5.Senaryo (% 50)	
	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I
A1	0,326	0,341	0,309	0,324	0,293	0,307	0,260	0,273	0,228	0,239	0,163	0,170
A2	0,400	0,430	0,410	0,442	0,420	0,453	0,439	0,475	0,458	0,497	0,497	0,542
A3	0,278	0,242	0,285	0,248	0,291	0,254	0,305	0,267	0,318	0,279	0,345	0,304
<b>PCC</b>	<b>0,988</b>		<b>0,978</b>		<b>0,970</b>		<b>0,965</b>		<b>0,968</b>		<b>0,978</b>	

Çizelge 7.13. Arpa Grubu İçin Duyarlılık Analizi ile Elde Edilen Sıralamalar

	Orijinal Sıralama		1.Senaryo		2.Senaryo		3.Senaryo		4.Senaryo		5.Senaryo	
	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I	PIPR.	PIPR.I
A1	2	2	2	2	2	2	3	2	3	3	3	3
A2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	2	2
$\rho$	<b>1,000</b>		<b>1,000</b>		<b>1,000</b>		<b>0,500</b>		<b>1,000</b>		<b>1,000</b>	

Beş farklı senaryo için Bulanık PIPRECIA ve Ters Bulanık PIPRECIA ağırlıkları bulunduktan sonra yine benzer şekilde bu iki ağırlığın ortalaması alınarak nihai ağırlıklar hesaplanmış ve kriter sıralamaları bulunmuştur. Buğday ve arpa grubu için elde edilen nihai kriter ağırlıkları ve sıralamalar Çizelge 7.14. ve Çizelge 7.15.'te sunulmuştur.

Çizelge 7.14. Buğday Grubu İçin Elde Edilen Ağırlıklar ve Sıralamalar

Kriter	1.Senaryo		2.Senaryo		3.Senaryo		4.Senaryo		5.Senaryo	
	Nihai wj	Nihai Sıra	Nihai wj	Nihai Sıra	Nihai wj	Nihai Sıra	Nihai wj	Nihai Sıra	Nihai wj	Nihai Sıra
B1	0,254	1	0,240	1	0,214	2	0,187	2	0,134	4
B2	0,236	2	0,236	2	0,236	1	0,236	1	0,236	1
B3	0,167	3	0,174	3	0,197	3	0,167	3	0,167	2
B4	0,146	4	0,146	4	0,146	4	0,146	4	0,146	3
B5	0,121	5	0,121	5	0,121	5	0,121	5	0,121	5
B6	0,094	6	0,094	6	0,094	6	0,094	6	0,094	6

Çizelge 7.15. Arpa Grubu İçin Elde Edilen Ağırlıklar ve Sıralamalar

Kriter	1.Senaryo		2.Senaryo		3.Senaryo		4.Senaryo		5.Senaryo	
	Nihai wj	Nihai Sıra	Nihai wj	Nihai Sıra	Nihai wj	Nihai Sıra	Nihai wj	Nihai Sıra	Nihai wj	Nihai Sıra
A1	0,317	2	0,300	2	0,267	3	0,233	3	0,167	3
A2	0,426	1	0,436	1	0,457	1	0,478	1	0,519	1
A3	0,266	3	0,273	3	0,286	2	0,299	2	0,325	2

Nihai ağırlıklar ve sıralamalar elde edildikten sonra son aşama olarak Spearman ve Pearson korelasyon katsayılarına bakılarak modellerin tutarlılığı incelenmiştir. Buğday grubu için yukarıdaki Çizelge 7.10. ve 7.11.’deki PCC ve  $\rho$  değerlerine bakıldığında korelasyonların yüksek olduğu ve dolayısıyla modellerin geçerli olduğu görülmektedir. Arpa grubu için ise Çizelge 7.12. ve Çizelge 7.13.’te yer alan değerler incelendiğinde yalnızca bir senaryoda korelasyon düşük çıkmıştır. Bu durum da kriter sayısının az olmasından kaynaklanmaktadır. Son olarak elde edilen ağırlıklar HTEA modeline dahil edilerek yeniden RÖS hesaplaması yapılmış, elde edilen risk sıralamaları Çizelge 7.16., Çizelge 7.17. ve Çizelge 7.18.’de paylaşılmıştır. Farklı senaryoların uygulanması sonucu aynı risk sıralamalarının elde edilmesi modelin geçerliliğini doğrulamaktadır.

Çizelge 7.16. Farklı Senaryolar için Risk Sıralaması

<b>Potansiyel Hata Modu</b>	<b>Önerilen Model</b>	<b>1.Senaryo</b>	<b>2.Senaryo</b>	<b>3.Senaryo</b>	<b>4.Senaryo</b>	<b>5.Senaryo</b>
İşçilerin bitkilerin çeşitini ayırt etmekte zorlanmaları	1	1	1	1	1	1
Tohumun atılması gereken parsele atılmayıp üst üste tohum atılması	2	2	2	2	2	2
Kalifiye ara eleman yetersizliği (tekniker eksikliği)	3	3	3	3	3	3
Tohum temizliği sırasında işçilerin farklı türdeki materyalleri ayırt etmede zorlanmaları	4	4	4	4	4	4
Melez dönemde yağmur yağması	5	5	5	5	5	5
Gübrenin olması gerekenden fazla kullanılması	6	6	6	6	6	6
Tohum temizliğinin elle yapılması	7	7	7	7	7	7



Çizelge 7.17. Farklı Senaryolar için Risk Sıralaması (devam)

<b>Potansiyel Hata Modu</b>	<b>Önerilen Model</b>	<b>1.Senaryo</b>	<b>2.Senaryo</b>	<b>3.Senaryo</b>	<b>4.Senaryo</b>	<b>5.Senaryo</b>
Mibzerin tıkanması	8	8	8	8	8	8
Tohum temizliği yapacak kalifiye personelin eksikliği	9	9	9	9	9	9
Deneme kağıdının tohumluktan sırayla alınmaması	10	10	10	10	10	10
Konaklama yeri ile tarla arasında mesafe olması	11	11	11	11	11	11
Traktörün ve mibzerin ekim öncesinde veya ekim sırasında bozulması	12	12	12	12	12	12
Gübre fiyatlarının yüksek olması	13	13	13	13	13	13
Deneme kurulan arazilerde uygun dinlenme alanlarının olmaması	14	14	14	14	14	14
Deneme parselasyonunun yanlış yapılması	15	15	15	15	15	15
Kuşların kese kağıdını yemesi	16	16	16	16	16	16
Hasat makinelerinin eski olması	17	17	17	17	17	17
Deneme kurulan yerlerde duş, lavabo olmaması	18	18	18	18	18	18
Çalışanlarda melezleme sırasında eğilmeye, ağır taşımaya bağlı kas iskelet sistemi rahatsızlıkları oluşması	19	19	19	19	19	19
Yabancı gezim döneminde yağmur yağması	20	20	20	20	20	20
Hasat işleminin insan gücüyle yapılması	21	21	21	21	21	21

Çizelge 7.18. Farklı Senaryolar için Risk Sıralaması (devam)

Potansiyel Hata Modu	Önerilen Model	1.Senaryo	2.Senaryo	3.Senaryo	4.Senaryo	5.Senaryo
Bitkinin otlanması sonucu parsellerin kaybedilmesi	22	22	22	22	22	22
Arazide salyangozların melez kağıdını yemesi	23	23	23	23	23	23
Rotovatorün düzgün bir şekilde çekilmemesi	24	24	24	24	24	24
Deneme yerinin boş zannedilip üçüncü kişiler tarafından kullanılması	25	25	25	25	25	25
Materyal temininde aksaklıklar yaşanması	26	26	26	26	26	26
Melezleme için alet ve ekipmanın yetersizliği (cımbız, makas)	27	27	27	27	27	27

### Önerilen Model ile Klasik HTEA Uygulama Sonuçlarının Karşılaştırılması

Klasik HTEA ve önerilen model sonuçları karşılaştırıldığında, her iki yöntemde de risk öncelik sıralamasının aynı olduğu görünmekte olup risk sıralamaları Çizelge 7.19. ve Çizelge 7.20.'de sunulmuştur. Hem klasik HTEA hem de Bulanık PIPRECIA & HTEA entegre yaklaşımına göre en fazla risk teşkil eden 5 alanın yabancı gezimi aşamasındaki işçilerin bitki çeşidini ayırt etmede zorlanmaları, ekim aşamasındaki tohumun atılması gereken parsele atılmayıp üst üste tohum atılması, melezleme aşamasındaki kalifiye ara eleman yetersizliği (tekniker eksikliği), tohum temizliği sırasındaki işçilerin farklı türdeki materyalleri ayırt etmede zorlanmaları ve melezleme aşamasındaki melez döneminde yağmur yağması olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, sıralamaların birebir aynı olması önerilen modelin performansının yüksek ve uygulanabilir olduğunu göstermektedir.

Çizelge 7.19. İki Yöntem Sıralamalarının Karşılaştırılması

Süreç	Potansiyel Hata Modu	RÖS (Önerilen Model)	RÖS (Klasik HTEA)	Sıra (Önerilen Model)	Sıra (Klasik HTEA)
Yabancı Gezimi	İşçilerin bitkilerin çeşidini ayırt etmekte zorlanmaları	0,71	83,13	1	1
Ekim	Tohumun atılması gereken parsele atılmayıp üst üste tohum atılması	0,52	61,06	2	2
Melezleme	Kalifiye ara eleman yetersizliği (tekniker eksikliği)	0,52	60,49	3	3
Tohum Temizliği	Tohum temizliği sırasında işçilerin farklı türdeki materyalleri ayırt etmede zorlanmaları	0,51	59,94	4	4
Melezleme	Melez döneminde yağmur yağması	0,49	57,23	5	5
Kültürel işlemler	Gübrenin olması gerekenden fazla kullanılması	0,47	54,66	6	6
Tohum Temizliği	Tohum temizliğinin elle yapılması	0,47	54,34	7	7
Ekim	Mibzerin tıkanması	0,45	52,84	8	8
Tohum Temizliği	Tohum temizliği yapacak kalifiye personelin eksikliği	0,44	51,83	9	9
Ekim	Deneme kağıdının tohumluktan sırayla alınmaması	0,44	51,45	10	10
Hasat	Konaklama yeri ile tarla arasında mesafe olması	0,43	50,65	11	11
Ekim	Traktörün ve mibzerin ekim öncesinde veya ekim sırasında bozulması	0,42	49,41	12	12
Kültürel işlemler	Gübre fiyatlarının yüksek olması	0,40	46,69	13	13
Ekim	Deneme kurulan arazilerde uygun dinlenme alanlarının olmaması	0,38	44,87	14	14
Ekim	Deneme parselizasyonunun yanlış yapılması	0,38	44,29	15	15

Çizelge 7.20. İki Yöntem Sıralamalarının Karşılaştırılması (devam)

Süreç	Potansiyel Hata Modu	RÖS (Önerilen Model)	RÖS (Klasik HTEA)	Sıra (Önerilen Model)	Sıra (Klasik HTEA)
Melezleme	Kuşların kese kağıdını yemesi	0,38	44,11	16	16
Hasat	Hasat makinelerinin eski olması	0,36	42,03	17	17
Ekim	Deneme kurulan yerlerde duş, lavabo olmaması	0,33	38,19	18	18
Melezleme	Çalışanlarda melezleme sırasında eğilmeye, ağır taşımaya bağlı kas iskelet sistemi rahatsızlıkları oluşması	0,33	38,10	19	19
Yabancı Gezimi	Yabancı gezim döneminde yağmur yağması	0,32	37,66	20	20
Hasat	Hasat işleminin insan gücüyle yapılması	0,31	36,15	21	21
Kültürel işlemler	Bitkinin otlanması sonucu parsellerin kaybedilmesi	0,30	34,66	22	22
Melezleme	Arazide salyangozların melez kağıdını yemesi	0,29	34,15	23	23
Ekim	Rotovatorün düzgün bir şekilde çekilmemesi	0,24	27,61	24	24
Ekim	Deneme yerinin boş zannedilip üçüncü kişiler tarafından kullanılması	0,22	26,03	25	25
Melezleme	Materyal temininde aksaklıklar yaşanması	0,21	24,35	26	26
Melezleme	Melezleme için alet ve ekipmanın yetersizliği (cımbız, makas)	0,17	19,33	27	27

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Artan gıda ihtiyacı, toprak, su ve genetik materyaller gibi doğal kaynakların hızla tüketilmesi, doğal alanların bilinçsiz kullanımı gibi unsurlar dikkate alındığında tarım sektörünün insan yaşamında çok kritik bir role sahip olduğunu görmekteyiz. Çoğunlukla arazi şartlarında gerçekleşen ve beşeri faktörlerin yanı sıra doğal afetler, kuraklık, iklim değişikliği, küresel ısınma gibi doğal unsurlardan da kolaylıkla etkilenen bir sektör olan tarım sektöründeki risklerin sistematik bir şekilde analiz edilerek yönetilmesi, verimliliği ve kaliteyi düşüren etmenlerin, yüksek risk içeren alanların tespit edilerek proaktif önlemler alınması tarımsal üretimin devamlılığının sağlanmasında önemli bir husustur.

Tarımsal üretimin sürekliliğinin sağlanmasında kritik role sahip unsurlardan biri olan bitki ıslah çalışmaları ile mevcut genetik materyal üzerinde kalıtsal değişiklikler ve iyileştirmeler yapılarak daha verimli, kaliteli, çevresel ve biyolojik etmenlere adaptasyonu yüksek çeşitler geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmalar arazi koşulları altında gerçekleştirildiğinden dolayı pek çok risk unsuru barındırdığından, bu risklerin olası olumsuz etkilerinden kaçınmak için proaktif önlemler alınması önemlidir.

Bu çalışmada, Bulanık mantık tabanlı HTEA yöntemi kullanılarak buğday ve arpa çalışmaları sırasındaki riskler analiz edilmiş, önerilen modelde Bulanık PIPRECIA ve HTEA bütünlük yaklaşımı uygulanmıştır. Analiz kapsamında, riskleri belirleme ve değerlendirme noktasında arazideki ıslah süreçlerine hakim 9 buğday ıslahçısı uzmanın, yapmış oldukları puanlamalar doğrultusunda bu uzmanları arazi bilgi ve tecrübelerine göre değerlendirmek için ise yönetimdeki 3 uzman karar vericinin görüşleri dikkate alınmıştır. Öncelikle, klasik HTEA yöntemi uygulama adımları izlenerek RÖS değerleri bulunmuş, daha sonra modeli daha esnek ve objektif bir hale getirmek için klasik HTEA yönteminin zayıflıklarından biri olan değerlendirici görüşlerinin aynı önem derecesinde olduğunun varsayılması problemine çözüm getirmek amacıyla HTEA ekip üyeleri 3 karar verici uzman tarafından Bulanık PIPRECIA yöntemiyle değerlendirilerek her biri için RÖS hesaplamasında kullanılmak üzere bir ağırlık belirlenmiştir. Yöntemin gücünü test etmek için 5 farklı senaryoda kriter ağırlıkları üzerinde değişiklik yapılarak modelin duyarlılığı ölçülmüştür. Sonuçlar modelin geçerliliğini doğrulamıştır. Son olarak ise,

klasik HTEA ve önerilen modelin sonuçları karşılaştırılarak risk sıralamalarında farklılık olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Hem klasik HTEA hem de Bulanık PIPRECIA & HTEA entegre yaklaşımına göre en fazla risk teşkil eden 5 alanın yabancı gezimi aşamasındaki işçilerin bitki çeşidini ayırt etmede zorlanmaları, ekim aşamasındaki tohumun atılması gereken parsele atılmayıp üst üste tohum atılması, melezleme aşamasındaki kalifiye ara eleman yetersizliği (tekniker eksikliği), tohum temizliği sırasındaki işçilerin farklı türdeki materyalleri ayırt etmede zorlanmaları ve melezleme aşamasındaki melez döneminde yağmur yağması olduğu tespit edilmiştir. Diğer sıralamalarında da birebir aynı olması modelin performansının yüksek olduğunu göstermiştir.

Ekiplere ağırlık ataması yapmak için hem grup karar verme süreçlerinde daha pratik ve avantajlı olması, hem karar vericilere bireysel olarak sıralama yapmadan değerlendirmeye olanak tanıyan olması, hem de bu alanda yapılan akademik çalışmaların darlığı sebebiyle SWARA yöntemi yerine uzantısı olan PIPRECIA yöntemi kullanılmıştır. Belirsizliği de çözüme dahil ederek daha esnek bir model tasarlamak ve kriterlerin belirsiz ve muğlak özellikte olmasından dolayı da klasik yaklaşım yerine Bulanık PIPRECIA yöntemine başvurulmuştur.

PIPRECIA ve Bulanık PIPRECIA yöntemleri yeni geliştirilen yöntemler olmakla birlikte, daha önce tarım alanında bu alanda yapılmış çalışmalar oldukça sınırlıdır. Literatürde tarım alanında Bulanık PIPRECIA ve HTEA bütünleşik yaklaşımını kullanan bir çalışma da mevcut değildir. Ayrıca literatür incelendiğinde, HTEA otomotiv, savunma sanayii gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmasına rağmen, tarım alanında bu yöntemle yapılan analizlerin az olduğu, bitki ıslah süreçlerini ele alan bir çalışmanın ise akademik çalışmalarda konu edilmediği görülmektedir. Çalışmanın bu yönlerden literatüre katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Ayrıca, modelin hiyerarşik karar yapılarında ve subjektifliğin yoğun olduğu koşullarda, belirsizlikten kaynaklı subjektifliği minimize etmek için klasik yaklaşıma göre daha avantajlı olacağı ve daha objektif bir çözüm sunacağı düşünülmektedir.

Gelecek alışmalar için, modelin bu yöndeki başarisının görülmesi ve doğrulanması adına farklı bir alan üzerine uygulaması yapılarak etkinliği ve uygulanabilirliğinin ölçülmesi önerilmektedir. Buna ilaveten, sonraki çalışmalarda karar vericiler de HTEA anket çalışmasına dahil edilerek iki yaklaşımın performansı karşılaştırılabilir. Ayrıca, buğday ve arpa alanında yapılan bu çalışma diğer bitki ıslah alanlarına da uyarlanarak ve katılımcı sayısı artırılarak çalışmanın kapsamının genişletilmesi ve Bulanık PIPRECIA yönteminin grup karar verme süreçlerindeki başarisını görmek adına karar verici sayısının artırılması da önerilmektedir.

## 9. KAYNAKLAR

- [1] B. Yet, A. Constantinou, N. Fenton, M. Neil, E. Luedeling, K. Shepherd, A Bayesian Network Framework for Project Cost, Benefit and Risk Analysis with an Agricultural Development Case Study, *Expert Systems with Applications*, 60 (2016) 141-155.
- [2] V. Tatar, O. Yazicioglu, B. Ayvaz, A Novel Risk Assessment Model for Work-Related Musculoskeletal Disorders in Tea Harvesting Workers, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 44 (2023) 2305-2323.
- [3] Y.X. Liu, M.R. Langemeier, I.M. Small, L. Joseph, W.E. Fry, J.B. Ristaino, A. Saville, B.M. Gramig, P.V. Preckel, A Risk Analysis of Precision Agriculture Technology to Manage Tomato Late Blight, *Sustainability*, 10 (2018).
- [4] C.H. Li, L. Sun, J.X. Jia, Y.P. Cai, X. Wang, Risk Assessment of Water Pollution Sources Based on an Integrated K-Means Clustering and Set Pair Analysis Method in The Region Of Shiyao, China, *Science of the Total Environment*, 557 (2016) 307-316.
- [5] A.J. Sang, K.M. Tay, C.P. Lim, S. Nahavandi, Application of a Genetic-Fuzzy FMEA to Rainfed Lowland Rice Production in Sarawak: Environmental, Health, and Safety Perspectives, *Ieee Access*, 6 (2018) 74628-74647.
- [6] A. Alkhalidi, M.N. Assaf, H. Alkaylani, G. Halaweh, F.P. Salcedo, Integrated Innovative Technique to Assess and Priorities Risks Associated With Drought: Impacts, Measures/Strategies, and Actions, *Global Study, International Journal of Disaster Risk Reduction*, 94 (2023).
- [7] S. Sader, I. Husti, M. Daróczy, Enhancing Failure Mode and Effects Analysis Using Auto Machine Learning: A Case Study of the Agricultural Machinery Industry, *Processes*, 8 (2020).
- [8] P. Zandi, M. Rahmani, M. Khanian, A. Mosavi, Agricultural Risk Management Using Fuzzy TOPSIS Analytical Hierarchy Process (AHP) and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), *Agriculture-Basel*, 10 (2020).
- [9] C.H. Jong, K.M. Tay, C.P. Lim, Application of the Fuzzy Failure Mode And Effect Analysis Methodology to Edible Bird Nest Processing, *Computers and Electronics in Agriculture*, 96 (2013) 90-108.
- [10] N.A. Wessiani, S.O. Sarwoko, Risk Analysis of Poultry Feed Production Using Fuzzy FMEA, *International Conference on Industrial Engineering and Service Science (IESS)*, 1-2 Eylül, Yogyakarta, Indonesia (2015).



- [11] H. Durmuş, Ö. Yurtsever, B. Yalçın, Bir Çay Fabrikasında Fine-Kinney ve FMEA Yöntemleri ile Risk Değerlendirmesi, *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 33 (2021) 287-298.
- [12] I.S. Arvanitoyannis, T.H. Varzakas, Application of ISO 22000 and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for Industrial Processing of Salmon: A Case Study, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48 (2008) 411-429.
- [13] R. Septifani, I. Santoso, B.N. Rodhiyah, Risk mitigation strategy of rice seed supply chains using Fuzzy-FMEA and Fuzzy-AHP (Case Study: PT. XYZ), *International Conference on Green Agro-Industry and Bioeconomy*, 18-20 Eylül, Univ Brawijaya, East Java, Indonesia, 2018.
- [14] D. Stanujkic, E.K. Zavadskas, D. Karabasevic, F. Smarandache, Z. Turskis, The Use of the Pivot Pairwise Relative Criteria Importance Assessment Method for Determining The Weights of Criteria, *Romanian Journal of Economic Forecasting*, 20 (2017) 116-133.
- [15] V.P. Toshniwal, R. Jain, G. Soni, S.K. Mangla, S. Narula, Technology Adoption Theories towards Environmentally Sustainable Pharma 4.0: A Rational Selection Approach, *Management of Environmental Quality*, 35 (2024) 684-711.
- [16] K.J. Jovic, G. Jovic, D. Karabasevic, G. Popovic, D. Stanujkic, E.K. Zavadskas, P.T. Nguyen, A Novel Integrated PIPRECIA-Interval-Valued Triangular Fuzzy ARAS Model: E-Learning Course Selection, *Symmetry-Basel*, 12 (2020).
- [17] A. Ulutas, G. Popovic, D. Stanujkic, D. Karabasevic, E.K. Zavadskas, Z. Turskis, A New Hybrid MCDM Model for Personnel Selection Based on a Novel Grey PIPRECIA and Grey OCRA Methods, *Mathematics*, 8 (2020).
- [18] A. Ozdagoglu, G.Z. Oztas, M.K. Keles, V. Genc, A Comparative Bus Selection for Intercity Transportation with an Integrated PIPRECIA & COPRAS-G, *Case Studies on Transport Policy*, 10 (2022) 993-1004.
- [19] S.Y. You, L.J. Zhang, X.G. Xu, H.C. Liu, A New Integrated Multi-Criteria Decision Making and Multi-Objective Programming Model for Sustainable Supplier Selection and Order Allocation, *Symmetry-Basel*, 12 (2020).
- [20] A. Puska, M. Nedeljkovic, S.H. Zolfani, D. Pamucar, Application of Interval Fuzzy Logic in Selecting a Sustainable Supplier on the Example of Agricultural Production, *Symmetry-Basel*, 13 (2021).
- [21] S. Biswas, D. Pamucar, Facility Location Selection for B-Schools in Indian Context: A Multi-Criteria Group Decision Based Analysis, *Axioms*, 9 (2020).

- [22] Z. Stevic, Z. Stjepanovic, Z. Bozickovic, D.K. Das, D. Stanujkic, Assessment of Conditions for Implementing Information Technology in a Warehouse System: A Novel Fuzzy PIPRECIA Method, *Symmetry-Basel*, 10 (2018).
- [23] I. Dalic, Ž. Stevic, C. Karamasa, A. Puška, A Novel Integrated Fuzzy PIPRECIA-Interval Rough Saw Model: Green Supplier Selection, *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 3 (2020) 126-145.
- [24] I. Dalic, J. Ateljevic, Z. Stevic, S. Terzic, An Integrated SWOT - Fuzzy PIPRECIA Model for Analysis of Competitiveness in order to Improve Logistics Performances, *Facta Universitatis-Series Mechanical Engineering*, 18 (2020) 439-451.
- [25] S. Vesković, S. Milinković, B. Abramović, I. Ljubaj, Determining Criteria Significance in Selecting Reach Stackers by Applying the Fuzzy PIPRECIA Method, *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 3 (2020) 72-88.
- [26] M. Stankovic, Z. Stevic, D.K. Das, M. Subotic, D. Pamucar, A New Fuzzy MARCOS Method for Road Traffic Risk Analysis, *Mathematics*, 8 (2020).
- [27] A. Blagojevic, Z. Stevic, D. Marinkovic, S. Kasalica, S. Rajilic, A Novel Entropy-Fuzzy PIPRECIA-DEA Model for Safety Evaluation of Railway Traffic, *Symmetry-Basel*, 12 (2020).
- [28] M. Bakir, S. Akan, E. Özdemir, Regional Aircraft Selection with Fuzzy PIPRECIA and Fuzzy MARCOS: A Case Study of the Turkish Airline Industry, *Facta Universitatis-Series Mechanical Engineering*, 19 (2021) 423-445.
- [29] A. Blagojevic, S. Kasalica, Z. Stevic, G. Trickovic, V. Pavelkic, Evaluation of Safety Degree at Railway Crossings in Order to Achieve Sustainable Traffic Management: A Novel Integrated Fuzzy MCDM Model, *Sustainability*, 13 (2021).
- [30] K. Arman, N. Kundakcı, Bulanık PIPRECIA Yöntemi ile Bankacılık Endüstrisinde Blozincir Teknolojisinin Benimsenmesini Etkileyen Kritik Faktörlerin Değerlendirilmesi, *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25 (2022) 79-92.
- [31] K. Arman, M. Cıbrır, N. Kundakcı, İşletmelerin Finansal Performansının Bulanık PIPRECIA ve MARCOS Yöntemleri ile Analizi: Bist Tekstil, *Deri Endeksinde Bir Uygulama*, *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 24 (2022) 800-826.
- [32] N. Kundakcı, Integration of Fuzzy PIPRECIA and Fuzzy MOORA Methods for Maintenance Strategy Selection, *Pamukkale Üniversitesi İşletme Araştırmaları Dergisi*, 10 (2023) 401-423.

- [33] S. Yenilmezer, İ. Ertuğrul, Blue Collar Personnel Selection for A Manufacturing Company with Fuzzy COPRAS Method Based on Fuzzy PIPRECIA, *Journal of Internet Applications and Management*, 14 (2023) 1-15.
- [34] A. Puska, M. Nedeljkovic, M. Jelocnik, J. Subic, D. Nancu, J.V. Andrei, An Assessment of Improving the Sustainable Agro-Touristic Offer in an Emerging Country Using the Integrative Approach Based on Fuzzy Logic, *Frontiers in Environmental Science*, 10 (2022).
- [35] Vikas, A. Mishra, Evaluation of TPM Adoption Factors in Manufacturing Organizations Using Fuzzy PIPRECIA Method, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 30 (2024) 101-119.
- [36] R. Attri, A. Mishra, A Hybrid Decision Making Framework Based on Fuzzy PIPRECIA-Fuzzy EDAS for Failure Mode and Effects Analysis, *International Journal Of Productivity And Quality Management*, 35 (2022) 473-493.
- [37] M. Mevsim, Risk Assessment and Accident Forecasting for an Underground Coal Mine, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2018.
- [38] R. Fattahi, M. Khalilzadeh, Risk Evaluation Using A Novel Hybrid Method Based on FMEA, Extended MULTIMOORA, and AHP Methods under Fuzzy Environment, *Safety Science*, 102 (2018) 290-300.
- [39] Ş. Çakar, Uçaklarda Kabin İçi İşyeri Ekipmanlarının İş Güvenliği Açısından Risk Analizi ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016.
- [40] P.K. Marhavilas, D. Koulouriotis, V. Gemeni, Risk Analysis and Assessment Methodologies in The Work Sites: On a Review, Classification and Comparative Study of the Scientific Literature of the Period 2000-2009, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 24 (2011) 477-523.
- [41] A. Kokangül, U. Polat, C. Dağsuyu, A New Approximation for Risk Assessment Using the AHP and Fine Kinney Methodologies, *Safety science*, 91 (2017) 24-32.
- [42] H.C. Liu, L. Liu, N. Liu, Risk Evaluation Approaches in Failure Mode and Effects Analysis: A Literature Review, *Expert Systems with Applications*, 40 (2013) 828-838.
- [43] A.T. Bakkurt, Hizmet İşletmelerinde Güvenilirlik Güvencesi Programları ve Bir HTEA (FMEA) Uygulaması, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2004.

- [44] M. Turgut, Bulanık Mantık ve Gri Teori Esaslı HTEA ile Otomotiv Endüstrisi İmalatında Hata Önceliklendirme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, **2013**.
- [45] D. Durhan, Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2006**.
- [46] İ. Gölcük, E.D. Durmaz, R. Şahin, Bulanık FUCOM ve Bulanık Çizge Teorisi-Matris Yaklaşımı ile İş Güvenliği Risklerinin Önceliklendirilmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 38 (2023) 57-70.
- [47] D.H. Stamatis, Failure Mode and Effect Analysis - FMEA from Theory To Execution, ASQC Quality Press, **1995**.
- [48] Ö. Kahraman, Bir Otomobil Fabrikasında İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında HTEA (Fmea) Yöntemi ile Risk Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, **2009**.
- [49] Y. Geum, Y. Cho, Y. Park, A Systematic Approach for Diagnosing Service Failure: Service-Specific FMEA and Grey Relational Analysis Approach, Mathematical and Computer Modelling, 54 (2011) 3126-3142.
- [50] H. Yörükoğlu, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Risklerinin Fuzzy-FMEA Yöntemi ile Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, **2014**.
- [51] M. Turan, Transformatör Üreten Bir Firmada Bulanık FMEA ile Risk Analizi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, **2018**.
- [52] P.M. Özfirat, Bulanık Önceliklendirme Metodu ve Hata Türü ve Etkileri Analizini Birleştiren Yeni Bir Risk Analizi Yöntemi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29 (2014) 755-768.
- [53] E.B. Atalay, Bulanık Mantık ve Gri Teori Esaslı HTEA ile Kablo Sektöründe Hata Önceliklendirme, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, **2019**.
- [54] Y. Çeber, Hata Türü ve Etkileri Analizi Yönteminin (FMEA) Üretim Sektöründe Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İzmir, **2010**.
- [55] M. Down, L. Brozowski, H. Younis, D. Benedict, J. Feghali, M. Schubert, R. Brender, G. Gruska, G. Vallance, M. Krasich, Potential Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation, **2008**.

- [56] D.S. Chang, K.L.P. Sun, Applying DEA to Enhance Assessment Capability of FMEA, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 26 (2009) 629-643.
- [57] H.C. Liu, L. Liu, Q.H. Bian, Q.L. Lin, N. Dong, P.C. Xu, Failure Mode and Effects Analysis Using Fuzzy Evidential Reasoning Approach and Grey Theory, *Expert Systems with Applications*, 38 (2011) 4403-4415.
- [58] Z.P. Tian, J.Q. Wang, H.Y. Zhang, An Integrated Approach for Failure Mode and Effects Analysis Based on Fuzzy Best-Worst, Relative Entropy, and VIKOR Methods, *Applied Soft Computing*, 72 (2018) 636-646.
- [59] H.W. Lo, J.J.H. Liou, C.N. Huang, Y.C. Chuang, A Novel Failure Mode and Effect Analysis Model for Machine Tool Risk Analysis, *Reliability Engineering & System Safety*, 183 (2019) 173-183.
- [60] G.Q. Huang, L.M. Xiao, G.B. Zhang, Risk Evaluation Model for Failure Mode and Effect Analysis Using Intuitionistic Fuzzy Rough Number Approach, *Soft Computing*, 25 (2021) 4875-4897.
- [61] H.C. Liu, J.X. You, X.J. Fan, Q.L. Lin, Failure Mode and Effects Analysis Using D Numbers and Grey Relational Projection Method, *Expert Systems with Applications*, 41 (2014) 4670-4679.
- [62] L.A. Zadeh, *Fuzzy Sets, Information and Control*, 8 (1965) 338-353.
- [63] Z. Şen, *Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri*, Bilge Kültür Sanat, İstanbul, 2001.
- [64] G.A. Akyüz, *Bulanık VIKOR Yöntemi ile Tedarikçi Seçimi*, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 26 (2012) 197-215.
- [65] Ö. Görgülü, *Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Teorisi ve Tarımda Kullanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma*, Doktora Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, 2007.
- [66] N. Erdemir, F. Öztürk, G.K. Kaya, Integrated Decision Support Model for Performance Evaluation of Public Staff: Using AHP and Fuzzy TOPSIS, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37 (2022) 1809-1822.
- [67] F. Karataş, İ. Koyuncu, T. Murat, M. ALÇIN, *Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonlarının Fpga Üzerinde Gerçeklenmesi*, *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, 1 (2020) 1-9.
- [68] J.D. Sánchez, A.T. Gómez, Applications of Fuzzy Regression In Actuarial Analysis, *Journal Of Risk And Insurance*, 70 (2003) 665-699.

- [69] C. Kahraman, U. Cebeci, D. Ruan, Multi-Attribute Comparison of Catering Service Companies Using Fuzzy AHP: The Case of Turkey, *International Journal of Production Economics*, 87 (2004) 171-184.
- [70] N. Çitli, Bulanık Çok Kriterli Karar Verme, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [71] T.J. Ross, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, John Wiley & Sons, 2009.
- [72] G. Cansu, S. Perçin, Bütünleşik Bulanık DEMATEL-Bulanık VIKOR Yaklaşımının Makine Seçimi Problemine Uygulanması, *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 12 (2017) 249-256.
- [73] S. Opricovic, Fuzzy VIKOR with An Application to Water Resources Planning, *Expert Systems with Applications*, 38 (2011) 12983-12990.
- [74] M. Zerenler, N. Türker, E. Şahin, Küresel Teknoloji, Araştırma-Geliştirme Ar-Ge ve Yenilik İlişkisi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (2007) 653-667.
- [75] OECD, Frascati Kılavuzu, Araştırma ve Deneysel Geliştirme Taramaları İçin Önerilen Standart Uygulama, (çev: TUBİTAK), Ankara, 2002.
- [76] H.T. Öztürk, Türk Savunma Sanayisinde Ar-Ge ve Yenilik Sistemleri, *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, 1 (2022) 129-137.
- [77] G. Özaydın, Y. Çelik, Tarım Sektöründe Arge ve İnovasyon, *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 25 (2019) 1-13.
- [78] TAGEM Yayın Kurulu, Bakanlık Ar-Ge Çalışmaları, [https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/ar\\_ge\\_projeleri/Bakanlik\\_AR\\_GE.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/ar_ge_projeleri/Bakanlik_AR_GE.pdf), (Erişim Tarihi: 27 Mart 2024).
- [79] E.A. Çifci, K. Yağdı, Türkiye'de Yetiştirilen Bazı Makarnalık Buğday Çeşitlerinde Genetik Farklılıkların Belirlenmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25 (2011) 7-18.
- [80] A. Pehlivan, S.Ü. İkincikarakaya, Makarnalık Buğdayda Kalite Islahı Çalışmaları, *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 26 (2017) 127-151.
- [81] H. Çoban, Vegetatif Olarak Üretilen Bitkilerde Mutasyon Islahı, *Selçuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 17 (2003) 62-67.
- [82] H. Ünver, Bitki Genetik Kaynaklarının Bahçe Bitkileri Açısından Değerlendirilmesi, *Düzce Üniversitesi Süs ve Tıbbi Bitkiler Botanik Bahçesi Dergisi*, 2 (2023) 57-61.
- [83] M.A. Birsin, *Bitbio* 6, [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/178423/mod\\_resource/content/0/Bitbio6.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/178423/mod_resource/content/0/Bitbio6.pdf) (Erişim tarihi: 21 Mart 2024).

- [84] M.A. Birsin, Bitbio 2,  
[https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/178421/mod\\_resource/content/0/Bitbio2.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/178421/mod_resource/content/0/Bitbio2.pdf) (Erişim tarihi: **21 Mart 2024**).
- [85] M.A. Birsin, Bitbio 7,  
[https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/178426/mod\\_resource/content/0/Bitbio7.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/178426/mod_resource/content/0/Bitbio7.pdf) (Erişim tarihi: **21 Mart 2024**).
- [86] A.E. Torkayesh, S.H. Zolfani, M. Kahvand, P. Khazaelpour, Landfill Location Selection For Healthcare Waste of Urban Areas Using Hybrid BWM-Grey MARCOS Model Based On GIS, Sustainable Cities and Society, 67 (2021).

## EKLER

### EK 1 – Klasik HTEA Anket

No	Süreç	Potansiyel Hata Modu	Geo. Ort. (O)	Geo. Ort. (S)	Geo. Ort. (D)	RÖS
1	Melezleme	Materyal temininde aksaklıklar yaşanması	2,96	4,62	1,78	24,35
2	Melezleme	Melezleme için alet ve ekipmanın yetersizliği (cımbız, makas)	2,42	4,96	1,61	19,33
3	Melezleme	Arazide salyangozların melez kağıdını yemesi	3,30	6,13	1,69	34,15
4	Melezleme	Kalifiye ara eleman yetersizliği (tekniker eksikliği)	4,72	5,19	2,47	60,49
5	Melezleme	Kuşların kese kağıdını yemesi	4,49	4,71	2,09	44,11
6	Melezleme	Melez döneminde yağmur yağması	5,08	5,23	2,15	57,23
7	Melezleme	Çalışanlarda melezleme sırasında eğilmeye, ağır taşımaya bağlı kas iskelet sistemi rahatsızlıkları oluşması	4,53	3,77	2,23	38,10
8	Ekim	Traktörün ve mibzerin ekim öncesinde veya ekim sırasında bozulması	5,53	5,46	1,64	49,41
9	Ekim	Deneme parselasyonunun yanlış yapılması	3,12	5,92	2,40	44,29
10	Ekim	Deneme kağıdının tohumluktan sırayla alınmaması	3,42	5,10	2,95	51,45



**EK 1 – Klasik HTEA Anket (devamı)**

No	Süreç	Potansiyel Hata Modu	Geo. Ort. (O)	Geo. Ort. (S)	Geo. Ort. (D)	RÖS
11	Ekim	Mibzerin tıkanması	4,25	5,28	2,36	52,84
12	Ekim	Tohumun atılması gereken parselde atılmayıp üst üste tohum atılması	3,47	5,04	3,49	61,06
13	Ekim	Deneme yerinin boş zannedilip üçüncü kişiler tarafından kullanılması	1,92	6,96	1,95	26,03
14	Ekim	Rotovatorün düzgün bir şekilde çekilmemesi	3,86	4,02	1,78	27,61
15	Ekim	Deneme kurulan arazilerde uygun dinlenme alanlarının olmaması	6,92	4,22	1,54	44,87
16	Ekim	Deneme kurulan yerlerde duş, lavabo olmaması	6,31	3,76	1,61	38,19
17	Kültürel işlemler	Gübre fiyatlarının yüksek olması	6,03	4,18	1,85	46,69
18	Kültürel işlemler	Gübrenin olması gerekenden fazla kullanılması	3,60	3,99	3,81	54,66
19	Kültürel işlemler	Bitkinin otlanması sonucu parsellerin kaybedilmesi	3,38	6,58	1,56	34,66
20	Yabancı Gezimi	İşçilerin bitkilerin çeşitini ayırt etmekte zorlanmaları	4,37	5,51	3,46	83,13
21	Yabancı Gezimi	Yabancı gezim döneminde yağmur yağması	5,06	4,51	1,65	37,66

**EK 1 – Klasik HTEA Anket (devamı)**

No	Süreç	Potansiyel Hata Modu	Geo. Ort. (O)	Geo. Ort. (S)	Geo. Ort. (D)	RÖS
22	Hasat	Hasat makinelerinin eski olması	6,00	5,74	1,22	42,03
23	Hasat	Hasat işleminin insan gücüyle yapılması	6,78	4,57	1,17	36,15
24	Hasat	Konaklama yeri ile tarla arasında mesafe olması	7,32	4,39	1,58	50,65
25	Tohum Temizliği	Tohum temizliği yapacak kalifiye personelin eksikliği	4,70	5,14	2,14	51,83
26	Tohum Temizliği	Tohum temizliğinin elle yapılması	6,87	4,94	1,60	54,34
27	Tohum Temizliği	Tohum temizliği sırasında işçilerin farklı türdeki materyalleri ayırt etmede zorlanmaları	4,89	5,00	2,45	59,94

**EK 2 – Bulanık PIPRECIA ile Bütünleşik HTEA Anket**

No	Süreç	Potansiyel Hata Modu	Geo. Ort. (O)	Geo. Ort. (S)	Geo. Ort. (D)	RÖS
1	Melezleme	Materyal temininde aksaklıklar yaşanması	0,60	0,95	0,36	0,21
2	Melezleme	Melezleme için alet ve ekipmanın yetersizliği (cımbız, makas)	0,50	1,01	0,33	0,17
3	Melezleme	Arazide salyangozların melez kağıdını yemesi	0,67	1,25	0,35	0,29
4	Melezleme	Kalifiye ara eleman yetersizliği (tekniker eksikliği)	0,96	1,06	0,51	0,52
5	Melezleme	Kuşların kese kağıdını yemesi	0,92	0,96	0,43	0,38
6	Melezleme	Melez döneminde yağmur yağması	1,04	1,07	0,44	0,49
7	Melezleme	Çalışanlarda melezleme sırasında eğilmeye, ağır taşımaya bağlı kas iskelet sistemi rahatsızlıkları oluşması	0,93	0,77	0,46	0,33
8	Ekim	Traktörün ve mibzerin ekim öncesinde veya ekim sırasında bozulması	1,13	1,12	0,33	0,42
9	Ekim	Deneme parselasyonunun yanlış yapılması	0,64	1,21	0,49	0,38
10	Ekim	Deneme kağıdının tohumluktan sırayla alınmaması	0,70	1,04	0,60	0,44

**EK 2 – Bulanık PIPRECIA ile Bütünleşik HTEA Anket (devamı)**

No	Süreç	Potansiyel Hata Modu	Geo. Ort. (O)	Geo. Ort. (S)	Geo. Ort. (D)	RÖS
11	Ekim	Mibzerin tıkanması	0,87	1,08	0,48	0,45
12	Ekim	Tohumun atılması gereken parselde atılmayıp üst üste tohum atılması	0,71	1,03	0,71	0,52
13	Ekim	Deneme yerinin boş zannedilip üçüncü kişiler tarafından kullanılması	0,39	1,42	0,40	0,22
14	Ekim	Rotovatorün düzgün bir şekilde çekilmemesi	0,79	0,82	0,36	0,24
15	Ekim	Deneme kurulan arazilerde uygun dinlenme alanlarının olmaması	1,42	0,86	0,31	0,38
16	Ekim	Deneme kurulan yerlerde duş, lavabo olmaması	1,29	0,77	0,33	0,33
17	Kültürel işlemler	Gübre fiyatlarının yüksek olması	1,23	0,85	0,38	0,40
18	Kültürel işlemler	Gübrenin olması gerekenden fazla kullanılması	0,74	0,82	0,78	0,47
19	Kültürel işlemler	Bitkinin otlanması sonucu parsellerin kaybedilmesi	0,69	1,35	0,32	0,30
20	Yabancı Gezimi	İşçilerin bitkilerin çeşitini ayırt etmekte zorlanmaları	0,89	1,13	0,71	0,71
21	Yabancı Gezimi	Yabancı gezim döneminde yağmur yağması	1,04	0,92	0,34	0,32

**EK 2 – Bulanık PIPRECIA ile Bütünleşik HTEA Anket (devamı)**

No	Süreç	Potansiyel Hata Modu	Geo. Ort. (O)	Geo. Ort. (S)	Geo. Ort. (D)	RÖS
22	Hasat	Hasat makinelerinin eski olması	1,23	1,17	0,25	0,36
23	Hasat	Hasat işleminin insan gücüyle yapılması	1,39	0,94	0,24	0,31
24	Hasat	Konaklama yeri ile tarla arasında mesafe olması	1,50	0,90	0,32	0,43
25	Tohum Temizliği	Tohum temizliği yapacak kalifiye personelin eksikliği	0,96	1,05	0,44	0,44
26	Tohum Temizliği	Tohum temizliğinin elle yapılması	1,40	1,01	0,33	0,47
27	Tohum Temizliği	Tohum temizliği sırasında işçilerin farklı türdeki materyalleri ayırt etmede zorlanmaları	1,00	1,02	0,50	0,51

