
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

YAPI ÜRETİM SÜRECİNDEKİ İŞ KAZALARI ŞİDDETİNİN ÖN BİLGİLENDİRİLMİŞ YAPAY ÖĞRENME METODU İLE TAHMİNİ

Mustafa TÜRKER

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARALIK 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mustafa TÜRKER
24/12/2021

YAPI ÜRETİM SÜRECİNDEKİ İŞ KAZALARI ŞİDDETİNİN ÖN BİLGİLENDİRİLMİŞ YAPAY ÖĞRENME METODU İLE TAHMİNİ

(Doktora Tezi)

Mustafa TÜRKER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2021

ÖZET

Bu çalışmada, yapı üretim sürecinde meydana gelen iş kazalarında, kaza şiddeti ile kaza önlemleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bunun için geçmiş kaza verileri kullanılarak, ilerideki iş kazalarında hangi önlemlerin alınması gerektiği ve bu önlemlerin alınmaması halinde kaza sonucunun ne olabileceğini tahmin edebilen bütünleşmiş bir model geliştirilmiştir. Bu tahmin modeli, günümüzde araştırmacıların sıklıkla kullandığı AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ve YSA (Yapay Sinir Ağları) metotlarının zayıf kaldıkları noktada birbirlerini tamamlaması amacıyla, birbirine entegre edilerek oluşturulmuştur. Oluşturulan bu ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağı modelinin anlamlılığı bir saha çalışması yapılarak gerçek veriler ile test edilmiştir. Örneklem için ulusal ve uluslararası literatürde en çok ölümle sonuçlanan 4 (dört) tür iş kazası seçilmiş ve her kaza türü için, aynı şirkette, 35 (otuz beş) geçmiş kaza verisi toplanmıştır. YSA metodu giriş ağırlıklarını önceden anlamlandıran AHP metodu için ikili kıyaslama verileri, profesyonel bir anket firması tarafından sektörde görev yapan iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarından, anket yöntemi ile elde edilmiştir. Elde edilen bu geçmiş kaza verilerinden 120 adedi ağların eğitilmesinde, 20 adedi de test edilmesinde kullanılmıştır. Ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağları için iki farklı aktivasyon fonksiyonu kullanılarak iki alternatif ağ konfigürasyonu oluşturulmuş olup aynı konfigürasyona sahip bir ön bilgilendirmesiz yapay sinir ağı ile kıyaslama yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu ön bilgilendirme aşamasının yapay sinir ağlarının öğrenme oranını eğitim veri setinde %5, test veri setinde %15 artırdığı görülmüştür. Ayrıca ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağlarında parabolik aktivasyon fonksiyonlu alternatif yüksek bir öğrenme performansı göstererek risk azaltıcı önlemler ile kaza şiddeti arasındaki ilişkinin, toplanan kaza verileriyle sınırlı olmak kaydıyla, %90 oranında anlamlı olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu	:	91129
Anahtar Kelimeler	:	İş kazaları, şiddet tahmini, AHP, YSA, PIALM, ön bilgilendirilmiş yapay öğrenme
Sayfa Adedi	:	85
Danışman	:	Prof. Dr. Recep KANIT

ESTIMATION OF THE SEVERITY OF OCCUPATIONAL ACCIDENTS IN THE BUILDING PROCESS WITH PRE-INFORMED ARTIFICIAL LEARNING METHOD

(Ph. D. Thesis)

Mustafa TÜRKER

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2021

ABSTRACT

In this study, the relationship between accident severity and safety measures in occupational accidents occurring in the building construction process was investigated. An integrated model had been developed that can predict what precautions should be taken in future accidents and what the result might be if these precautions are not taken, with using historical accident data. This prediction model was developed by integrating AHP (Analytical Hierarchy Process) and ANN (Artificial Neural Networks) methods, which are frequently used by researchers today, to complement each other at the point where they are weak. The significance of this pre-informed artificial neural network model was tested with real data by conducting a field study. For the sample, four types of occupational accident that resulted in the most deaths in the national and international literature were selected and thirty-five past accident data were collected for each type in the same construction company. The binary comparison data for the AHP method, which defines the input weights of the ANN, were obtained by a professional survey company from the occupational health and safety experts working in the sector, by survey method. 120 of historical accident data were used for training networks and 20 for testing. For pre-informed neural networks, two alternative network configurations were developed using two different activation functions and a comparison was made with a neural network with the same configuration without pre-informing. As a result, it was seen that the pre- informing stage increased the learning rate of artificial neural networks by 5% in the training data set and 15% in the test data set. In addition, the alternative with parabolic activation function in pre-informed artificial neural networks showed a high learning performance, and it was observed that the relationship between risk reduction measures and accident severity was 90% significant, provided that it was limited to the collected accident data.

Science Code	:	91129
Key Words	:	Occupational Accidents, Severity Estimate, ANN, AHP, PIAIM, Pre-Informed Artificial Learning
Page Number	:	85
Supervisor	:	Prof. Dr. Recep KANIT

TEŞEKKÜR

Doktora öğrenciliğim boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım değerli büyüğüm ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Recep KANIT'a, katkılarından dolayı TİK üyeleri Sayın Prof. Dr. Mürsel ERDAL ile Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen ve beni bugünlere getiren sevgili annem Asiye TÜRKER'e ve babam Hüseyin TÜRKER'e, yanında görev yaptığım süre boyunca bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyip her zaman bana destek olan saygıdeğer büyüğüm ve işverenim Sayın İnş. Yük. Müh. Osman MİMARSİNANOĞLU'na ve mesai arkadaşlarıma, bu zorlu süreçte her zaman beni destekleyen, bana yardım eden, sabır gösteren, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, sevgili eşim Gizem TÜRKER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

SİMGELER VE KISALTMALAR xii

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 7

3. MATERYAL VE METOT 13

3.1. Materyal 13

3.2. Metot 15

3.2.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi 15

3.2.2. Yapay Sinir Ağları 21

3.2.3. Ön Bilgilendirilmiş Yapay Öğrenme Metodu (PIALM) 35

4. UYGULAMA 41

4.1. Hazırlık Aşaması 41

4.1.1. Kaza türlerinin tanımlanması 41

4.1.2. Kaza önlem gruplarının tanımlanması 42

4.2. Ön Bilgilendirme Aşaması 42

4.3. PIALM ile Yapay Öğrenme Aşaması 48

4.3.1. Ağ yapısının oluşturulması 48

Sayfa

4.3.2. Ağın eğitilmesi 51

5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME 55

5.1. Uygulamaya Ait Bulgular 55

5.2. Uygulamanın Doğrulanması 59

5.3. Metodun Diğer Çalışmalar ile Kıyaslanması 60

5.4. Bu Çalışmadan Yapılan Yayın 60

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 61

6.1. Sonuç 61

6.2. Öneriler 61

KAYNAKLAR 63

EKLER 67

EK-1. Anket sonuçları 68

EK-2. Anket sonuçlarının AHP ile analiz edilmesi 71

EK-3. Kazalara ilişkin YSA analiz sonuçları 81

ÖZGEÇMİŞ 85

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Metot ve uygulama kısmında kullanılan yapay sinir ağların konfigürasyonları 14

Çizelge 3.2. Kıyaslama ölçekleri ve açıklamaları 18

Çizelge 3.3. Kriterlerin ikili kıyaslama matrisi 18

Çizelge 3.4. Kriterlerin normalize edilmiş kıyaslama değerlerine ait ağırlıkların elde edilmesi 19

Çizelge 3.5. RI değerleri 20

Çizelge 4.1. Çalışmaya konu olan iş kazaları ve seçilen ilgili imalat grupları 41

Çizelge 4.2. İş kazalarında risk azaltıcı önlemler 42

Çizelge 4.3. İş kazalarında kaza şiddet sınıfları 42

Çizelge 4.4. Yapısal göçme kazası için TKY önlem grubu nitel karşılaştırma matrisi .. 45

Çizelge 4.5. Yapısal göçme kazası için TKY önlem grubu nicel karşılaştırma matrisi . 46

Çizelge 4.6. Yapısal göçme kazası için TKY önlem grubu matris normalizasyonu 46

Çizelge 4.7. Yapısal göçme kazası için TKY önlem grubu ağırlıklarının elde edilmesi 46

Çizelge 4.8. AHP ile elde edilen toplu koruma yöntemlerinin ağırlıkları 47

Çizelge 4.9. AHP ile elde edilen kişisel koruyucu yöntemlerinin ağırlıkları 47

Çizelge 4.10. AHP ile elde edilen kontrol, eğitim, muayene yöntemlerinin ağırlıkları . 47

Çizelge 4.11. Kalıp imalatlarında yapısal göçme riski için; ağır yaralanma ile sonuçlanmış 14 numaralı kaza tutanağının veri haline getirilmesi 52

Çizelge 5.1. Kalıp imalatlarında yapısal göçme eğitim verisi analiz sonuçları 55

Çizelge 5.2. Risk skoru üzerinden kaza şiddetlerinin sınıflandırmasını yapabilen tahmin denklemleri 56

Çizelge 5.3. Kalıp imalatlarında yapısal göçme doğrulama verisi analiz sonuçları 56

Çizelge 5.4. Ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağı tahmin doğruluk oranları 57

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 5.5. Kıyaslama yapılan yapay sinir ağlarına ilişkin ağ konfigürasyonları ve tahmin doğruluk oranları 58

Çizelge 5.6. Tahmin denklemlerinin senaryoların risk analizlerinde kullanılması 59

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. İnşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliği konusunda yapılan yayınlar..... 7

Şekil 3.1. Çalışma metodolojisinin şekli..... 15

Şekil 3.2. AHP hiyerarşisi gösterimi..... 17

Şekil 3.3. Kriterlerin kıyaslamasında kullanılan skala..... 18

Şekil 3.4. YSA Temel küme grupları..... 23

Şekil 3.5. Bir yapay sinir ağı hücresi 26

Şekil 3.6. Bir biyolojik nöronun basitleştirilmiş gösterimi..... 27

Şekil 3.7. İleri beslemeli YSA mimarisi 29

Şekil 3.8. Geri beslemeli YSA mimarisi..... 31

Şekil 3.9. Kohonen ağı mimarisi..... 31

Şekil 3.10. İki girdi grubunun tek tip hücreye bağlantıları ve AHP ağırlıklarının tanımlanması..... 37

Şekil 3.11. Ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağlarında ölçeklendirme 38

Şekil 3.12. İki girdi grubunun üç farklı tip hücreye bağlantıları ve AHP ağırlıklarının tanımlanması..... 40

Şekil 4.1. 22 numaralı katılımcının TKY-3 ile TKY-7 kıyaslamasına ait kaydı 43

Şekil 4.2. Kalıp imalatlarında yapısal göçme kazası için anket kayıtları 44

Şekil 4.3. Yapısal göçme kazası için önlem yöntem grupları arası kurulan AHP hiyerarşisi 45

Şekil 4.4. Ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağı parabolik aktivasyon fonksiyonlu ağ yapısı 50

Şekil 4.5. Her kaza için çözülecek optimizasyon problemi şematik gösterimi 51

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklamalar**
CI	Consistency Index
CR	Consistency Ratio
RI	Random Index
RS	Risk Skoru
RS_{GRUP}	Önlem Yöntem Grubu Risk Skoru
S_{GRUP}	Önlem Yöntem Grubu Ağırlıkları Toplamı
Tanh	Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu
W_{GRUP}	Ölçeklenmiş S_{GRUP} değeri
w^{AHP}	Analitik Hiyearşi Prosesi Ağırlık Değeri
w^{YSA}	Yapay Sinir Ağı Bağlantı Ağırlık Değeri
θ	Bias

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
EU27	Avrupa birliği üyesi 27 ülke
FAHP	Fuzzy Analytic Hierarchy Process
ISG	İş Sağlığı ve Güvenliği
ILO	International Labour Organization
KEM	Kontrol, Eğitim, Muayene
KKD	Kişisel Koruyucu Donanımlar
MLP	Multilayer Perceptron
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PIALM	Pre-Informed Artificial Learning Method
RBF	Radial Basis Function

Kısaltmalar	Açıklamalar
TKY	Toplu Koruma Yöntemleri
VBA	Visual Basic for Applications
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Çalışmanın konusu

Bilimsel gelişmeler, yapılması imkânsız birçok uygulamayı günümüz şartlarında mümkün kılmıştır. İnsan sinir hücrelerinin öğrenme yeteneğini taklit eden metot ve yazılımların gelişmesi ile birden fazla kişinin yaptığı iş, saniyeler içinde ve daha doğru yapılabilmektedir. Yapay sinir hücrelerinden oluşan ağlar ile belirli bir duruma ait zekâ öğrenilebilir, saklanabilir ve ileriki durumlar için kullanılabilir. Yapay sinir ağları öğrenme faaliyetini çok sayıda bağımsız parametreyi değerlendirerek yapabilir. Bu durum, spesifik problemler için yapay sinir ağlarını insan öğrenmesinden üstün kılmaktadır. Bu tür uygulamaların kullanımının artması birçok sektörde olduğu gibi inşaat sektörünü de olumlu etkilemiştir. Ülkemizde her üç günde iki çalışanın iş kazası sebebiyle hayatını kaybettiği bu sektörde, erken tahmin ve uyarı sistemleri kazaların önlenmesinde veya şiddetlerinin azaltılmasında çok kritik rol oynamaktadır. Kazanın gerçekleşme olasılığı tahmin edilebilir ve azaltılabilir olsa bile her zaman küçük de olsa bir ihtimal kalmaktadır. Fakat kaza şiddetinin tahmin edilebilir olması, spesifik olarak şiddetin kabul edilebilir seviyelere çekilebilmesine imkân verir. Bu noktadan yola çıkılarak oluşturulan bu çalışma ile, yaygın olarak kullanılan iki metodun yetersiz kaldıkları yerde birbirlerini tamamlamaları amacıyla birlikte kullanılarak, iş kazalarında şiddetin tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

Bu entegre metot ile mesleki deneyim, AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) ile yorumlanarak, geçmiş verilerin bağımsız değişkenler ile YSA (Yapay Sinir Ağları) tarafından ilişkilendirilmesinde kullanılmıştır. Mesleki deneyimin AHP ile yorumlanması ve YSA ağına entegre edilmesi, yani ön bilgilendirme aşaması ile öğrenme için gerekli veri sayısı azalmış ve tahmin gücü önemli ölçüde artırmıştır.

Çalışmanın önemi

İnşaat projeleri her açıdan çok çeşitlidir. Yüklenici, kendi namına bir proje yapabilir, kamuya ait bir projeyi yürütebilir, kamu ile ortak bir proje yürütüp belirli bir süre sonra devredebilir veya üçüncü bir yatırımcı için proje yürütebilir. Bu projelerde bazen hiçbir hazırlık yapılmamış olabilir, sadece ön fizibilitesi yapılmış olabilir veya tasarımı eksiksiz

hazırlanmış olabilir. Bu projeler altyapı projeleri, su yapıları, karayolu, demiryolu, havayolu, köprü, gökdelen, konut, otel, hastane, metro, nükleer tesis olabilir. Bu durumda her sektörde inşaat sektörünün bir payı olduğunu söylemek yanlış olmaz. Yapıların belirli bir kullanım ömürlerinin olması nedeniyle de bu sektörün hep var olacağını, ihtiyacın hiç bitmeyeceğini söyleyebiliriz. Kısacası insanın olduğu her yerde daima inşaat sektörü var olacaktır.

Yapı üretim süreci birçok belirsizlik içerir ve dolayısıyla çeşitli risklerin etkisi altında sürdürülür. Genelde, projeler sahip oldukları risk oranında da yüksek getiri sağlarlar. Bir projeyi başarılı bir şekilde tamamlamak her yüklenicinin ana hedefidir, fakat başarı olarak tanımlanan birçok kriter vardır. Maliyet, süre, kalite gibi bilinen başarı kriterlerinin yanında kanunlar tarafından korunan ve yükleniciyi mecbur tutan, etik unsurlara sahip İş Güvenliği kriteri de vardır. Her iş sahibi, yürüttüğü iş için çalışanlarının güvenliğini yapının inşaatı tamamlanana kadar sağlamak zorundadır.

26.12.2012 tarih ve 28509 sayılı resmî gazetede yayınlanan "İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği" ile inşaat sektörü çok tehlikeli sınıfta tanımlanmıştır. İnşaat projelerinde yüzlerce risk unsuru bulunmasına rağmen hiçbiri insan hayatından önemli değildir ve olmamalıdır. Bu yüzden riskler arasındaki değerlendirmede ölümlü iş kazaları her zaman en öncelikli sırada olmalıdır.

İş kazaları sektörel açıdan incelendiğinde, T. C. Sosyal Güvenlik Kurumu yayınlanan resmi istatistiklerine göre 2015 ve 2018 yılları arasında iş kazası sonucu yaşamını yitiren sigortalılardan bütün sektörler içerisinde inşaat sektörünün payı 2147 kişi ile %36,8 olmuştur. Ölümlü olmayan iş kazaları neticesinde, yatarak ve ayakta tedavi görülmesi ile kaybedilen iş günü sayısı için bütün sektörler içerisinde inşaat sektörünün payı, 2015 ve 2018 yılları arasında 2.630.513 gün ile %20,3 olarak kayıtlara geçmiştir (Sosyal Guvenlik Kurumu, 2018). Görüldüğü üzere ülkemizdeki iş kazalarının, özellikle ölümlü iş kazalarının büyük bir kısmı inşaat sektöründe meydana gelmektedir.

Avrupa birliği EUROSTAT kuruluşunun yapmış olduğu araştırmaya göre Avrupa ülkelerinde (EU27), 2015 ve 2018 yılları arasında ülkeler toplamında ölümcül iş kazası geçiren çalışanlardan bütün sektörler içerisinde inşaat sektörünün payı 2800 kişi ile %20,6 olmuştur (EUROSTAT, 2021). Amerika Birleşik Devletleri İşçi İstatistikleri bürosunun yapmış olduğu sayımlara göre 2015 ve 2017 yılları arasında eyaletler toplamında ölümcül iş

kazası geçiren çalışanlardan bütün sektörler içerisinde inşaat sektörünün payı 2899 kişi ile %19,1 olmuştur (U.S. Bureau of Labor Statistics, 2021).

Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) istatistikleri incelenecek olursa, global düzeyde 2015 ve 2019 yılları arasında ülkeler toplamında ölümcül iş kazası geçiren çalışanlardan bütün sektörler içerisinde inşaat sektörünün payı 11.250 kişi ile %20,3 olmuştur (ILOSTAT, 2021).

Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa Birliği ve global açıdan yayımlanan istatistiklerden yola çıkılacak olursa, her ölümlü beş iş kazasından biri yapı üretim sürecinden kaynaklanmaktadır. Her ölümlü iş kazası, birçok açıdan büyük bir kayıptır.

Sınırlılıklar

Bir kazanın meydana gelmesi binlerce dinamik alt değişkene bağlıdır. Bu değişkenler kişisel kaynaklı olabildiği gibi çevresel kaynaklı da olabilir. Başka bir bakış açısı ile olaya bakılacak olursa; kazaya uğrayacak kişi, çalıştığı kurumun işini görmek amacıyla, ona gösterilen yer ve şartlarda çalıştığı için kazaya sebebiyet verecek parametrelerin büyük bir çoğunluğu çalıştığı kurumun etkisi altındadır. Müteahhitlik şirketlerinin iş sağlığı ve güvenliği konusundaki tutumu, kazaların gerçekleşme olasılığına ve şiddetine doğrudan etkilidir. Şirketten şirkete değişen bu bakış açısı, kurumun güvenlik iklimi ve güvenlik kültürü kavramlarıyla ifade edilir. Bu kavramların güvenlik davranışına etkisi olduğu yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur (Karadal vd., 2019). Bu bakımdan bu tezde ortaya konulan metot ile oluşturulan tahmin ağı, verilerin alındığı müteahhitlik şirketi ile sınırlıdır.

Bu çalışmada ortaya konulan metot, uygulama yapılan müteahhitlik şirketine ait geçmiş verileri kullandığı için bir başka şirkette büyük olasılıkla doğru sonuç vermeyecektir. Bu yüzden çalışma evreni, ilgili müteahhitlik şirketi kapsamında meydana gelmiş veya meydana gelecek iş kazaları olarak sınırlandırılmıştır. Metodun bir başka müteahhitlik şirketinde verimli çalışabilmesi için en baştan uygulanması ve o şirketin geçmiş verilerinin kullanılması gerekecektir.

Yöntem

Bu çalışma, konunun, amacın, önem ve sınırlılıkların ortaya konulduğu ve yöntemin özetlenerek giriş yapıldığı birinci bölüm dışında beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde konuyla doğrudan ilişkili literatür taraması özetlenmiş; üçüncü bölümde materyal kısmında çalışmada kullanılan bilgi, veri ve yazılımlar tanıtılmış, metot kısmında Excel üzerinde çalışan VBA (Visual Basic for Applications) programlama dili ile ayrı ayrı yazılımları geliştirilen AHP ile ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağları hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölüm olan uygulama bölümünde çalışmanın metodolojisinin nasıl uygulandığı açıklanmış ve beşinci bölümde sonuçlar verilmiş, irdelemesi ve değerlendirilmesi yapılmış, sonuçların uygulanabilirliği gösterilmiş, ulaşılan sonuçlar benzer alanda olmamakla birlikte aynı metodoloji ile yapılan diğer çalışma sonuçları ile mukayese edilmiş ve öneriler kısmında ise inşaat projelerinin uygulama aşamalarında mal ve can güvenliğini sağlama amacıyla kazaların şiddetini azaltmayı sağlayacak önlemlerin alınabilirliği ile ilgili farkındalığın sağlanması ve ihale sonucunun ve müteahhit performansının değerlendirilmesinde dikkate alınabileceğine değinilmiştir.

Bu çalışmada uygulanan metodoloji sıralı faaliyetler halinde aşağıda özetlenmiştir.

- SGK (Sosyal Güvenlik Kurumu) verileri ve literatür bilgileri doğrultusunda iş kazalarının en yoğun yaşandığı imalat grupları, iş kazası türleri, kaza önlem grupları ve önlem yöntemleri ve kaza şiddetleri tanımlanmıştır.
- Profesyonel hizmet alımı suretiyle İSG (İş Sağlığı ve Güvenliği) uzmanlarına anket uygulanarak imalat gruplarına göre iş kazaları koruma yöntemlerinin etkinliğinin kıyaslanmasına dair veriler derlenmiş, derlenen her bir anket sonucu AHP yöntemi ve CR (Tutarlılık Oranı) kullanılarak tutarlılık analizinden geçirilmiş, anket sorularına verilen tutarlı cevapların sayısal değerlerinin ortalamaları alınarak tek bir değere indirgenmiş, tek değere indirgenen veri setlerinin CR'leri kontrol edilmiş ve her önlem yöntem grupları için AHP ağırlıkları hesaplanmış;
- YSA ağı, ön bilgilendirme metodu ile 1 giriş katmanı, 1 gizli katman, 1 çıkış katmanından oluşturulmuş, giriş katmanı ise TKY (Toplu Koruma Yöntemleri) için 10, KKD (Kişisel Koruyucu Donanım) için 9, KEM (Kontrol, Eğitim, Muayene) için 4 giriş parametresi giriş katmanı şeklinde yapılandırılmıştır.

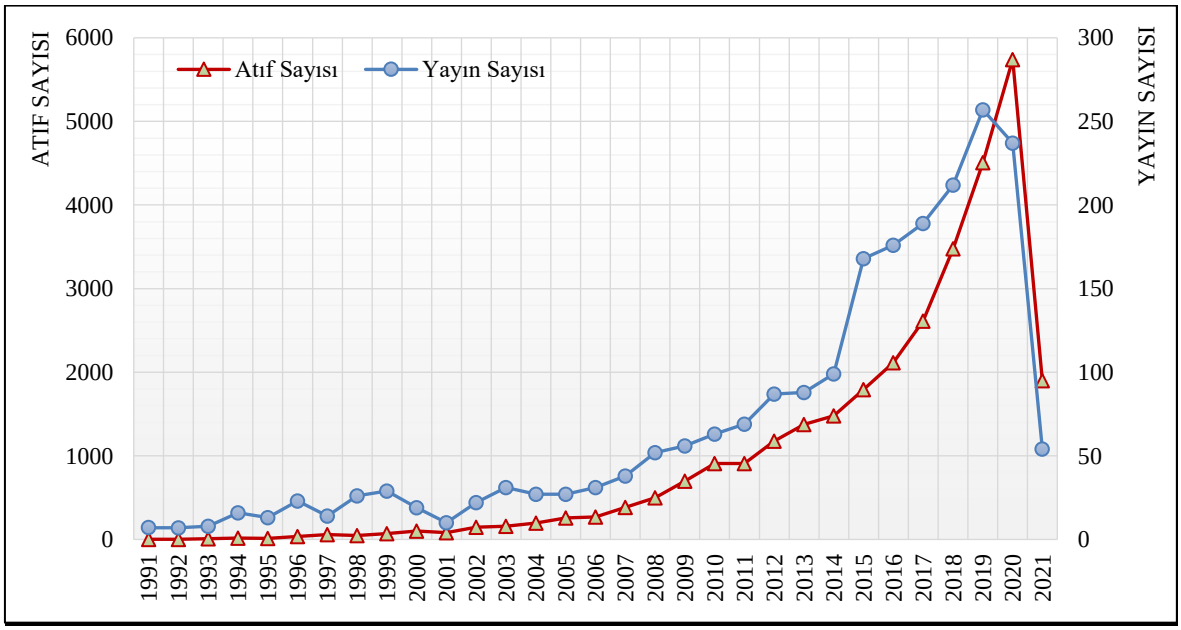
- Sektörde uzun yıllardır faaliyet gösteren bir müteahhitlik şirketinin geriye dönük 500'den fazla kaza tutanağı incelenmiş, her bir kaza tutanağı için;
- Kaza anında alınmış TKY, KKD ve KEM önlemleri ve
- Kazanın nasıl sonuçlandığı, belirlenmiştir.
- Her bir kaza türü için 30 veri ağın eğitilmesinde, 5 veri de test edilmesinde kullanılmıştır.
- Ön bilgilendirilmiş YSA'da parabolik aktivasyon fonksiyonu kullanılmış olup sırasıyla kazalarda toplam 20 test setinin 18'ini doğru tahmin etmiş, yani tahmin performansı %90 olmuştur.

Ayrıca parabolik aktivasyon fonksiyonu kullanan konfigürasyonlu YSA'nın performansının ortaya koyulması bakımından aynı veri setleri ile hiperbolik tanjant konfigürasyonlu YSA ve ön bilgilendirmesiz YSA ile analizler yapılmış, sonuçları kıyaslanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tezin bu bölümünde çalışmada kullanılan metotla doğrudan alakalı yayınlar ile ilgili bir literatür araştırması sunulmuştur.

Günümüzün en etkili araştırma veri tabanlarından biri olan Web Of Science üzerinden inşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliğini konu alan yayınlar araştırılmıştır. Bu araştırma sırasında "construction", "occupational" ve "safety" anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Araştırma neticesine göre 1975-2021 yılları arasında SCI-EXPANDED, SSCI indekslerinde taranan dergilerde toplam 2155 yayın yapılmıştır (Clarivate Analytics, 2021). Bu yayınların yıllara göre dağılımı Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. İnşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliği konusunda yapılan yayınlar

Son 10 yılda inşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliği konulu yapılan araştırmalar her yıl bir önceki yıla göre ortalama %15,4 artmıştır. Sadece 2020 yılında 237 yeni yayın yapılmıştır. Benzer olarak son 10 yılda inşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliğini konu alan yayınlara yapılan atıflar, her yıl bir önceki yıla oranla ortalama %21,5 artarak toplamda 31.033 atıf almıştır. Sadece 2020 yılında 5.741 atıf alan bu alanda h-indeks 72 ve her bir yayın için ortalama 14,4 atıf göstermektedir (Clarivate Analytics, 2021). Bu çalışmalardan bu tez kapsamında doğrudan ilgili olanlar aşağıda verilmiştir.

Clarke (2006), çalışmasında güvenlik iklimi ve güvenlik performansı konularına yer vermiştir. Çalışan güvenliği davranışını, güvenlik uyumu (görev performansı) ve güvenlik katılımı (bağlamsal performans) birlikte inceleyen iki boyutlu bir emniyet performansı modeli üzerinden incelenmiş ve çalışma ortamlarının gerek yöneticiler sebebiyle gerek güvenlik iklimi sebebiyle çalışanların güvenlik davranışları ile ilgili oldukları kanaatine varmıştır. Bu nedenle, güvenlik ikliminin etkisi mesleki ortamlara ve çalışma ortamlarına göre değişiklik gösterdiği vurgulanmıştır.

Haslam vd. (2005) inşaat kazalarına sebep olan faktörleri incelemiştir. Yüksek atıf alan bu yayında, geçmiş çalışmalar ile birlikte 100 ayrı inşaat kazası incelenmiştir. Bu kazalarla ilgili kaza raporları incelenerek kazalara karışan kişiler, sorumlu yöneticileri, tasarımcılar, üreticiler, tedarikçiler gibi birçok ilgili taraflar incelenmiştir. Kazalara yol açan anahtar faktörlerden işçi ve çalışma ekibinin bir kazaya etkisi %70, işyerinin etkisi %49, ekipmanlarla ilgili eksiklikler (kişisel koruyucu donanımlar dahil) %56, malzemelerin kullanılabilirlik durumu ve uygunluğu %27 ve risk yönetimi ile ilgili eksiklikler %84 oranında elde edilmiştir.

Çin'deki inşaat faaliyetlerinin hızla gelişmesi ve ulusal ekonominin temeli haline gelmesi üzerine bu sektördeki iş sağlığı ve güvenliği konusu da aynı oranda önem kazanmıştır. Zhao ve Iop (2019), yapmış oldukları çalışmada risk tanımlama ve faktör korelasyonu kullanarak Çin'deki şantiyelerde iş sağlığı yönetimini etkileyen çeşitli faktörleri incelemiştir ve bu faktörlerin önemini sıralamıştır. Önem sırasına göre faktörler; işçilerin farkındalığı, güvenlik ve teknoloji yönetimi, işçi davranış alışkanlıkları, şantiye günlük yönetimi, kurumsal karar verme ve işletme denetim sistemi. Çalışmaya göre çalışanların farkındalığının tüm diğer faktörler arasında en kritik olduğu ve iş sağlığı yönetimi üzerindeki etkisinin en bariz olduğu görülmektedir. Bu nedenle inşaat işletmeleri, işçilerin iş güvenliği bilincini artıracak önlemler almalı, iş sağlığı ile ilgili bilgileri öğrenmelerine yardımcı olmalı, şantiyedeki çeşitli risk faktörlerini değerlendirmeyi öğrenmeli ve iş sağlığı konusunda kişisel pozitif farkındalığı artırmalıdır.

Gurcanli ve Mungen (2009) yapmış oldukları çalışmada belirsiz ve yetersiz verilerle başa çıkmak için belirsiz kural tabanlı bir güvenlik analizi kullanarak işçilerin şantiyelerde maruz kaldıkları risklerin değerlendirilmesi için bir yöntem önermişlerdir. Bu yaklaşım ile geçmiş kaza verileri, uzmanların öznel yargıları ve bir şantiyenin mevcut güvenlik seviyesi

birleştirilebilir. Bu çalışma kapsamında tüm sektörlerde 40.000 sınıflandırılmamış iş kazasından inşaat sektöründe ilk 5239 iş kazası tespit edilmiştir. Daha sonra bu 5239 inşaat kazası incelenmiş ve ayrıntılı olarak sınıflandırılmıştır. Bu verileri ve güvenlik uzmanlarının öznel yargısını birleştirerek, kaza olasılığı, mevcut güvenlik seviyesi ve kaza ciddiyeti olmak üzere üç parametre üretilmiş ve bunlar bulanık kural tabanlı sistem için girdi parametreleri olarak kullanılmıştır. Geliştirilen yöntem bir tünel açma şantiyesinde uygulanmış ve her tür kaza için risk seviyesi üretilmiştir.

Mistikoglu vd. (2015), çatıda çalışan işçilerin maruz kaldığı düşme kazalarını araştırmıştır. C5.0 ve CHAID algoritmaları bu çalışmada karar ağaçları oluşturmak, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki ilişkileri gösteren kuralları çıkarmak için kullanılmıştır. ABD Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi'nden (OSHA) alınan veriler ile bir düşme kazasının ölümle sonuçlanıp sonuçlanmayacağını tahmin etmek için kullanılacak parametrelerin düşme mesafesi, ölüm / yaralanma nedeni, güvenlik eğitimi ve düşmeye neden olan inşaat faaliyeti olarak belirlenmiştir. Çalışmaya göre düşme mesafesi arttıkça ölüm şansının arttığı belirtilmiştir.

Seker ve Zavadskas (2017), literatürde inşaat sektörü için riskleri araştıran ve mesleki tehlikeleri önleyen çok sayıda çalışma yapıldığını, nicel geleneksel yöntemlerin çoğunlukla belirsizlikle ilgili sınırlamaları olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada, bu sınırlamaların üstesinden gelmek ve risk değerlendirmesini basitleştirmek için inşaat yöneticilerine şantiyelerdeki kazalar için önleyici tedbirler önermelerine yardımcı olan uygulanabilir ve iyileştirilmiş bir yaklaşım önerilmiştir. Bulanık Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı (DEMATEL) yönteminin bir neden-sonuç diyagramı ile mesleki tehlikelerin nedensel faktörlerini değerlendirebileceği ve şantiyelerde belirli güvenlik önlemlerini iyileştirebileceği gösterilmiştir. Ek olarak, sonuçların sağlamlığını doğrulamak için duyarlılık analizi yapılmıştır.

Gurcanli ve Mungen (2013), yapmış oldukları çalışmada ceza ve iş mahkemelerine sunulan 1.117 bilirkişi raporunu incelemiştir. 1972-2008 yıllarını kapsayan raporlar ülkenin tüm bölgelerini kapsamaktadır. Kazalar, olayın sonucu, kazanın zamanı ve ana nedenleri, inşaat türü, kazazedenin mesleği, kaza anındaki faaliyet ve kazadan sorumlu tarafa göre sınıflandırılmıştır. Düşme (%54,1), fırlatılan / düşen cisimlerin çarpması (%12,9), yapısal çökmeler (%9,9) ve elektrik çarpmaları (%7,5) ilk dört sırada yer almıştır. Kazalar büyük

olasılıkla 15:00 ile 17:00 saatleri arasında (%22,6), 10:00-12:00 (%18,7) ve öğle yemeğinden hemen sonra (%9,9) olmuştur. Ek olarak, en yaygın kazalar ayrıca alt türlere ayrılmıştır. Kusurlu tarafları ve hangi ihmal eylemlerinin tipik olarak kazalara yol açtığını belirlemek için uzman-tanık değerlendirmeleri kullanılmıştır. Hatalı ve ihmalkar eylemlerin yaklaşık üçte ikisi işveren kaynaklı olduğu ve tüm vakaların neredeyse üçte birinden çalışanlar kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır.

Aminbakhsh vd. (2013) yapmış oldukları çalışma ile AHP metodu ve Güvenlik Maliyeti teorisine dayalı bir risk değerlendirme çerçevesi önermişlerdir. Çalışmada her kazaya, kendi grubu içerisinde hiyerarşik olarak ağırlık kazandırılmış ve önlem maliyeti ile kaza maliyetinin kesiştiği optimum bütçe aranmıştır.

Gurcanli vd. (2015), Türk inşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliğinin yeterli seviyede olmadığı belirtilen çalışmada küçük ve orta ölçekli konut projeleri üzerinde durulmuştur. İstanbul'da toplam alanları 230 ile 118.200 m^2 arasında değişen 25 adet betonarme konut binasının çizimleri, teknik özellikleri, metraj cetvelleri incelenmiştir. Saha ziyaretleri yapılarak saha mühendisleri tarafından bilgi toplanmıştır. Bu çalışma, inşaat faaliyetlerine odaklanarak risk değerlendirme faaliyetleri ve inşaat proje planlaması kullanarak ihale aşamasının erken aşamaları için güvenlik maliyeti tahmini için bir yaklaşım sunmayı amaçlamıştır. Ek olarak, bir maliyet analizi yapılmış ve sonuçlar, İstanbul'daki 30 beton konut projesi ile karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir. Planlama için Primavera P6 kullanılmış ve risk değerlendirmesi için geçerli teknikler (L matris ve Fine-Kinney) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Son olarak, maliyet tahmini için faaliyet tabanlı teknikler kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, güvenlik maliyetinin toplam inşaat maliyetine oranının %1,92 olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca mevcut mevzuata uymak ve riskleri en aza indirmek için; 2013 oranlarına göre adam-saat başına 0,85 USD ve birim alan başına güvenlik maliyeti yaklaşık 5,68 USD olarak bulunmuştur.

Yilmaz ve Kanıt (2018), yapmış oldukları çalışmada mevzuata uygun olarak şantiyede alınması gereken bütün önlemleri işçilik bazında maliyet olarak yansıtmayı başarmışlar ve kendilerinin geliştirdiği yazılım ile başka bir yazılıma ihtiyaç duymadan uygulamaya geçirmişlerdir. Çok detaylı olarak yapılan bu çalışmada; doğrudan tek bir oran yerine, imalat grubuna göre mevzuatın gereklilikleri sonucu oluşan maliyetler doğru bir şekilde proje bütçesine hiyerarşik olarak yansıtılmıştır.

Ilbahar vd. (2018), iş sağlığı ve güvenliği alanında risk değerlendirmesi için yeni bir entegre yaklaşım olan Pisagor Bulanık Orantılı Risk Değerlendirmesi (PFPRA), Fine Kinney, Pisagor bulanık analitik hiyerarşi prosesi ve bulanık çıkarım sistemi kullanmışlardır. Önerilen yaklaşımın diğer metotlara göre temel farkı, bu yöntemlerin daha doğru bir risk değerlendirmesi sağlayacak şekilde entegre edilmiştir ve geliştirilen yöntem bir inşaat projesinde kazı işlerinde kullanılmış, sonuçlar Pisagor Bulanık Hata Modları ve Etkileri Analizi (PFFMEA) ile karşılaştırılmış ve önerilen yöntemin karar verme sürecinin belirsizliğini daha iyi temsil eden güvenilir ve bilgilendirici sonuçlar ürettiği ortaya çıkmıştır.

Pinto vd. (2012), hiçbir kişisel önlem alınmayacağı varsayılan bu çalışmada; literatürden belirlemiş oldukları kaza türleri için bulanık küme teorisini kullanarak, her kaza türü için ayrı ayrı ilgili parametreleri belirlemiş, insan vücudunun kısımları için biyomekanik sınırları kullanarak kazanın şiddetini tahmin eden bir yöntem ortaya koymuşlardır.

Mohammadfam vd. (2015), çalışmalarında sağlığı tehdit eden iş kazalarında ilgili faktörleri değerlendirerek kazaların şiddetini tahmin edebilen bir model ortaya koymuşlardır. Çalışmada Kaba Küme Teorisi ve YSA yöntemleri ayrı ayrı kullanılmış olup, YSA yönteminin büyük ölçekli projelerde daha güvenilir olduğu ortaya konulmuş ve iki yöntemin birlikte kullanılmasının çok daha iyi sonuçlar verebileceği gösterilmiştir.

Alizadeh vd. (2015) İran inşaat sektöründe yaşanan iş kazalarında Bayesian Ağlarını kullanarak kaza şiddetinin olasılığını araştırmışlardır. Çalışmada yaş, evlilik durumu, iş deneyimi, geçmiş kaza deneyimi faktörlerini kullanarak bir tahmin ağı geliştirilmiştir.

Bu çalışmaya konu olan metoda benzer olarak Li vd. (2012), YSA ve Bulanık AHP metotlarını birlikte kullanarak bir ekipmanda hataya sebep olan risk unsurlarını değerlendirmişlerdir. Her unsur için 15 er adet geçmiş veri ağın eğitilmesi için, 5 adet veri de ağın test edilmesi için kullanılmıştır. Bu model ile karmaşık haldeki risk değerlendirme problemi basite indirgenmiş ve daha isabetli bir model geliştirilmiştir. Benzer bir metot Gomathi ve Shanmuga Priyaa (2017) tarafından koroner kalp hastalığı teşhisi için geliştirilmiştir. Bu çalışmada dört tür metot kıyaslanmıştır; Optimize Edilmiş Yarı Parametrik Genişletilmiş Derin Dinamik Bayesian Ağı, ikinci metot birinci metodun AHP ile entegre edilmiş hali, üçüncü metot Genişletilmiş Dinamik Bayesian Ağı ve dördüncü

metot Optimize Edilmiş Yarı Parametrik Genişletilmiş Dinamik Bayesian Ağı. Çalışma neticesinde AHP destekli yapay öğrenme modeli diğer yöntemlere göre çok daha isabetli görülmüş ve F1 skoru 0,97 olmuştur.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan materyaller aşağıda tanımlanmıştır;

- Profesyonel yardımla sağlanan anket verileri
- Bir şirketin geriye dönük iş kazalarına dair aldığı önlemleri ve kaza sonuçlarını gösteren kaza raporları
- AHP işlem adımları ve hesaplamaları için Microsoft Excel programı üzerinden VBA programlama dili kullanılarak Excel tablolarının matrisler olarak kullanılması
- AHP ile elde edilen ağırlıkların YSA'ya entegrasyonu ve parabolik aktivasyon kullanan konfigürasyonlu YSA ile öğrenme işlemi için Microsoft VBA programlama dili

Ayrıca, ön bilgilendirilmiş YSA'nın performansını ortaya koyabilmek amacıyla;

- Ön bilgilendirmesiz YSA ve
- Hiperbolik tanjant kullanılan konfigürasyonlu YSA için IBM firmasına ait SPSS programı

kullanılmıştır.

Çalışmada sonuçları kullanılan ve İSG uzmanlarına uygulanan anketin işlemli bir örneği EK-1'de verilmiştir.

Anketlerin doğruluğunun ve takibinin doğru yapılabilmesi için online bir platform olan Microsoft Forms uygulaması kullanılmıştır. Bu platformda 4 kaza türü için ayrı ayrı anket formu oluşturulmuş olup anketlerde her kaza türü için 4 bölüm yer almaktadır ve her bölüm kendi içinde ayrı bir anketi temsil etmektedir. Bu bölümler aşağıda verilmiştir;

- Bölüm 1: Mesleki Bilgiler ile İlgili Sorular
- Bölüm 2: Toplu Koruyucu Önlem Yöntemleri Kıyaslama Soruları
- Bölüm 3: Kişisel Koruyucu Donanımlar Kıyaslama Soruları
- Bölüm 4: Kontrol, Eğitim ve Muayene Kıyaslama Soruları

Mesleki bilgiler kısmında, formu dolduracak kişilerin mesleği (zorunlu), adı ve soyadı (zorunlu), İSG Uzmanı ise belge sınıfı ve numarası, deneyimi (zorunlu) bilgileri yer

almaktadır. İkinci, üçüncü ve dördüncü bölümde ise sorular, ilgili koruyucu donanımların kendi aralarındaki ikili kıyaslamalarından oluşmaktadır. Anketin doğru kişilerce doldurulması ve inşaat sektöründe aktif olarak çalışan organik katılımcı bulunması amacıyla, Mersin Üniversitesi Teknoloji Geliştirme Bölgesi'nde yer alan ve Nirvana Dijital işletmesi tarafından yürütülen Bilimsel Anketler isimli firmadan belirli bir ücret karşılığında destek alınmıştır. 4 kaza tipi için toplam 109 kişi anketleri online ortamda doldurmuş, 227 adet soru için toplam 5891 yanıt toplanmıştır. Her bir anket sonucu AHP yöntemi CR indeksi kullanılarak tutarlılık analizi yapılmıştır. İşlemli bir anket örneği EK 2'de verilmiştir.

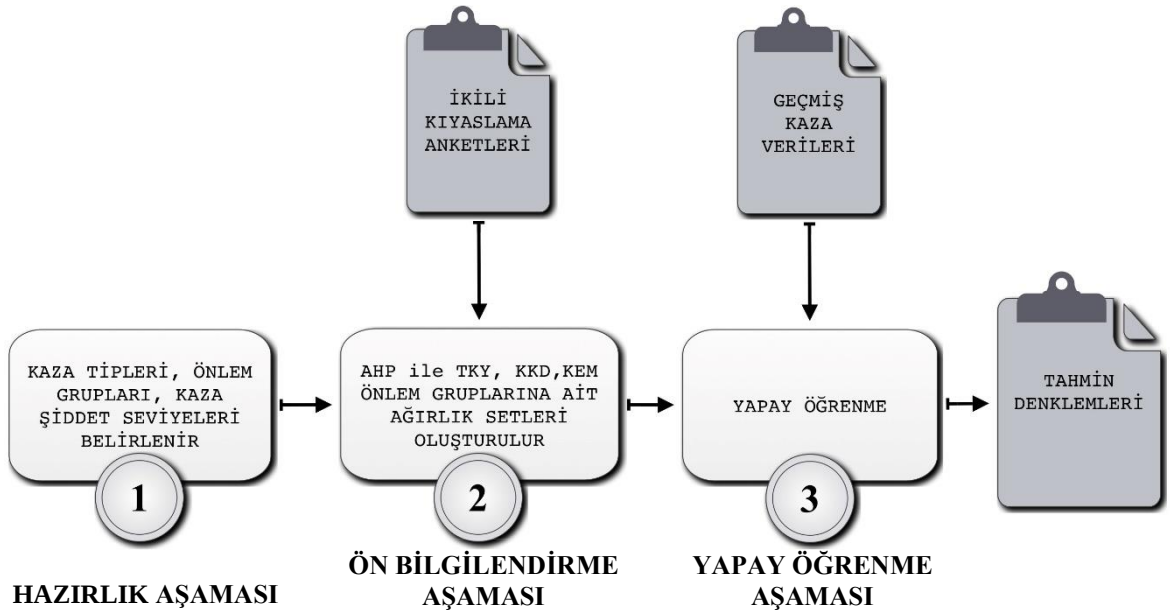
Piyasada bulunan hazır YSA programları bu çalışma ile elde edilen yöntemi uygulamada yetersiz kaldığından VBA kullanılarak metodun uygulanabileceği bir program oluşturulmuştur. Bu aşamada metot kısmında bahsedilen YSA metodu ilkeleri ve hesaplamaları takip edilmiştir. Ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağları için kurulan konfigürasyonlar ve kıyaslama yapılmada kullanılan ön bilgilendirme olmayan yapay sinir ağı konfigürasyonuna ait detay bilgiler aşağıdaki Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Metot ve uygulama kısmında kullanılan yapay sinir ağların konfigürasyonları

METOT:	Ön Bilgilendirme Olmayan Yapay Sinir Ağı	Ön Bilgilendirmeli Yapay Sinir Ağı	Ön Bilgilendirmeli Yapay Sinir Ağı
Kullanılan Yazılım/Arayüz	SPSS - Neural Networks Engine	EXCEL VBA + SOLVER	EXCEL VBA + SOLVER
Ağ Topolojisi	Multilayer Perceptron (MP)	MP	MP
Gizli Katman Sayısı	1	1	1
Yapay Hücre Sayısı	6 (Hücre) + 1 (Bias)	6 (Hücre) + 3 (Bias)	6 (Hücre) + 3 (Bias)
Aktivasyon Fonksiyonu	Hiperbolik Tanjant (6 Hücre) $\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$	Hiperbolik Tanjant (6 Hücre)	Parabolik Fonksiyon 3 Hücre; $f(x) = x^2$ 3 Hücre; $f(x) = x$
Çıkış Fonksiyonu	$f(x) = x$	$f(x) = x$	$f(x) = x$
Değişken Ölçeklemesi	(x- x̄) / Standart Sap.	(x- x̄) / Standart Sap.	(1-x) * 10
Optimizasyon Algoritması	Gradient Methods	Gradient Methods	Gradient Methods
Randomizer	Mersenne Twister algorithm	Mersenne Twister	Mersenne Twister
Başlangıç Değeri	10	10	0,1

3.2. Metot

İş kazalarında, kaza şiddeti ile alınan önlemler arasındaki ilişkiye cevap arayan bu çalışma bir öngörücü ilgileşim araştırmasıdır. Koruyucu ekipman ve önleyici faaliyetlerin eksik olması, iş kazalarında ölüme sebebiyet verebilir. Diğer yandan her ölüm ile sonuçlanan iş kazasında tek sebep koruyucu ekipman ve faaliyetlerin eksikliği olmayabilir. Üçüncü veya dördüncü bir dış etken her zaman için ihtimal dahilindedir. Ayrıca bu çalışma kapsamında kazaların gerçekleşme ihtimalleri değil, kaza olayı gerçekleştiği takdirde şiddetinin nasıl olacağının ilişkisi araştırılmıştır. Bu sürecin metodolojisi Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma metodolojisinin şekli

3.2.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi

AHP, bir çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemidir. AHP ile ilgili en eski referans 1972 yılına aittir (Saaty, 1972). Sonrasında Saaty (1977), Journal of Mathematical Psychology dergisinde yayınladığı makalede, yöntemi tam olarak tanımlamıştır.

AHP, deneyime, sezgiye ve sezgiselliğe dayalı, karar verme sürecini sağlam matematiksel ilkelerden türeten sistematik bir yaklaşımdır. Basitliği ve kullanım kolaylığı nedeniyle AHP, yöneticiler ve karar vericiler tarafından hemen kabul görmüştür. Karar vericinin düşüncelerini yapılandırmaya, sorunu takip ve analiz ederek basit bir şekilde düzenlemeye

yardımcı olmaktadır. Temel olarak AHP, sıralamaların karmaşıklığını, ölçümünü ve sentezini yapılandırmaya yardımcı olur. Bu özellikler onu çok çeşitli uygulamalar için uygun hale getirir. AHP teorik olarak sağlam ve piyasada test edilmiş ve kabul edilmiş bir metodoloji olduğunu kanıtlamıştır. Başarısını, uygulama ve anlama kolaylığı ile birleştirdiğinde, karar verme için yeni bir paradigma olarak neredeyse evrensel olarak benimsenmektedir. Bunun da ötesinde, algı ve beklentilerle uyumlu sonuçlar üretebilen bir metodoloji olduğunu kanıtlamıştır (Bhushan ve Rai, 2007).

AHP, keşfinden bu yana çeşitli karar verme senaryolarında uygulanmıştır (Virendra Rajput vd., 2018):

- Seçim – bir dizi alternatif arasından bir alternatifin seçilmesi.
- Önceliklendirme/değerlendirme – bir dizi alternatifin göreli değerinin belirlenmesi.
- Kaynak tahsisi – çeşitli kısıtlamalara tabi olan en iyi alternatif kombinasyonunu bulmak.
- Kıyaslama – süreçlerin veya sistemlerin diğer, bilinen süreçler veya sistemlerle birlikte değerlendirilmesi.
- Kalite yönetimi.

AHP analizi yapabilen bazı yazılımlarda şunlardır (Virendra Rajput vd., 2018);

- TransparentChoice
- Expert choice
- Transparent decision
- Bpmsg
- Super decisions

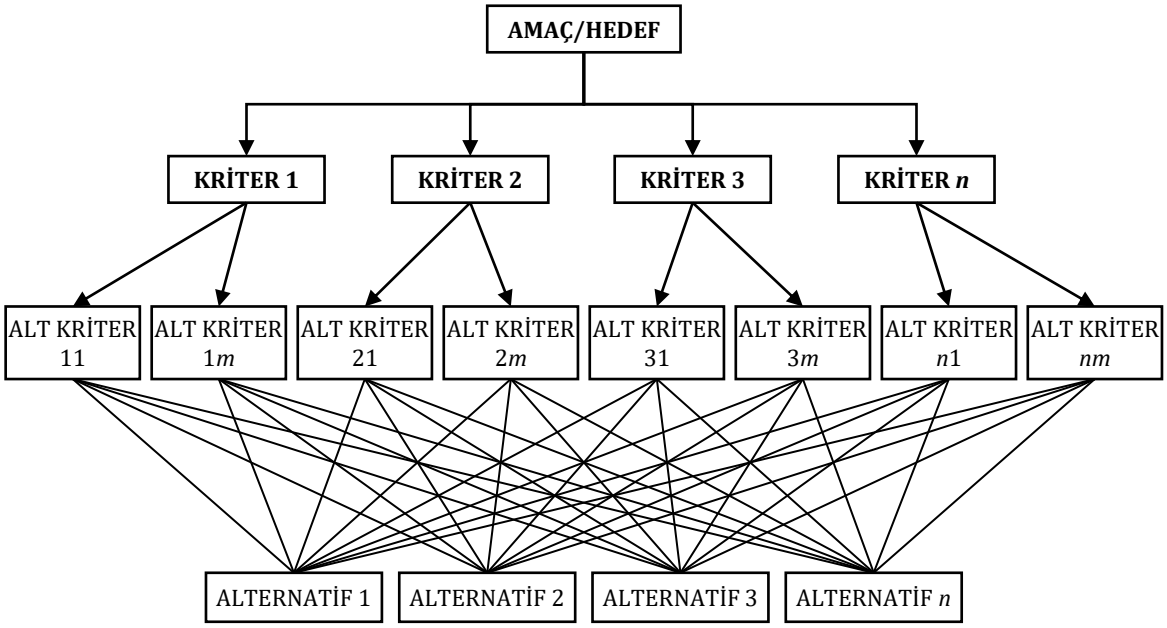
AHP, sorunu daha kolay kavranabilen ve öznel olarak değerlendirilebilen alt problemler hiyerarşisine ayırmaya imkân sağlar. Sübjektif değerlendirmeler sayısal değerlere dönüştürülür ve her alternatif işlenerek sayısal bir ölçekte sıralanır.

AHP'nin metodolojisi aşağıdaki adımlarla açıklanabilir (Bhushan ve Rai, 2007):

1. Adım: Problem; hedef, kriterler, alt kriterler ve alternatiflerden oluşan bir hiyerarşiye ayrıştırılır. Bu, karar vermenin en yaratıcı ve önemli kısmıdır. Karar problemini bir hiyerarşi olarak yapılandırmak AHP süreci için esastır. Hiyerarşi, bir düzeyin öğeleri ile hemen

altındaki düzeyin öğeleri arasındaki ilişkiyi gösterir (Saaty, 1977). Bu ilişki, hiyerarşinin en alt seviyelerine kadar ayrışır ve bu şekilde her öğe, en azından dolaylı olarak, birbirine bağlı olmuş olur. Hiyerarşi, bir ağın düzenli bir şeklidir. Tersine çevrilmiş bir ağaç yapısı bir hiyerarşiye benzer. AHP metodunun geliştiricisi olan Saaty, hiyerarşiyi yapılandırmanın yararlı bir yolu olarak, hedeften mümkün olduğunca aşağı inilmesini ve alternatifler arasında karşılaştırmaları mümkün kılacak şekilde hiyerarşinin oluşturulması gerektiğini önermektedir (Bhushan ve Rai, 2007).

Şekil 3.2'de genel bir hiyerarşik yapı gösterilmiştir. Hiyerarşinin temelinde, incelenen ve analiz edilen problemin amacı veya hedefi yatmaktadır.



Şekil 3.2. AHP hiyerarşisi gösterimi

Hiyerarşinin en üst kısmında hedef/amaç yer alırken en alt kısmında alternatifler yer alır. Bu iki kısım arasında kriterler ve bunlara bağlı alt kriterler bulunur. AHP'yi önemli kılan en önemli özellik, herhangi bir seviyedeki alt kriterin alternatifler üzerindeki etkisini kıyaslarken hem yerel hem de global ölçüde kıyaslama yapabilmesidir.

Adım 2: Hiyerarşik yapıya karşılık gelen veriler uzmanlar veya karar vericiler tarafından aşağıda açıklandığı gibi niteliksel bir ölçek kapsamında, alternatiflerin ikili karşılaştırması ile toplanır (Saaty, 1977). Uzmanlar karşılaştırmayı eşit, az güçlü, güçlü, çok güçlü ve son derece güçlü olarak değerlendirebilir. İkili kıyaslamaların uzmanlar tarafından

değerlendirilmesi ve verilerin toplanması için Şekil 3.3'de gösterildiği gibi genel bir tablo kullanılır. Bu tasarım, amaca, metoda ve kullanıcı kullanımı konularına yönelik olarak özelleştirilebilir.

A								***X***		**B**
	Son Derece Güçlü	Çok Güçlü	Güçlü	Az Güçlü	Eşit	Az Güçlü	Güçlü	Çok Güçlü	Son Derece Güçlü	

Şekil 3.3. Kriterlerin kıyaslamasında kullanılan skala

Bu skalada *"X"* ile işaretlenen "Çok Güçlü" seçeneği, yapıldığı kriter açısından B'nin A ile karşılaştırıldığında çok güçlü olduğunu gösterir. Karşılaştırmalar her bir kriter için yapılır ve Çizelge 3.2'ye göre nicel sayılara dönüştürülür (Saaty, 1977).

Çizelge 3.2. Kıyaslama ölçekleri ve açıklamaları

Ölçek	Tanım	Kıyaslama Açıklaması
1	Eşit	İki kriter eşit önemdedir
3	Az üstün	Kriterlerden birinin tecrübe ve yargıya dayanan biraz üstünlüğü vardır
5	Üstün	Kriterlerden birinin tecrübe ve yargıya dayanan çokça üstünlüğü vardır
7	Çok Üstün	Kriterlerden biri diğerine göre üstün sayılmıştır
9	Kesin Üstün	Bir kriterin diğerinden üstün olduğu kanıt, çok büyük güvenirliğe sahiptir
2, 4, 6, 8	Ara değerler	Uzlaşabilmek amacıyla kullanılacak ara değerlerdir

Adım 3: 2. adımda oluşturulan çeşitli kriterlerin ikili karşılaştırmaları bir matris halinde düzenlenir. Matrisin köşegen elemanları 1'dir. (i, j) elemanının değeri 1'den büyükse, i. satırdaki kriter j. sütundaki kriterden daha üstündür; aksi halde j. sütundaki kriter, i. satırdakinden daha üstündür. Matrisin (j, i) elemanı, (i, j) elemanının tersidir. Aşağıdaki tabloda n ile kriter sayısını, K_n ile kriterleri, a_{ij} ile kriterler arası üstünlüğün ifade edildiği sayısal değerleri, S_j ile de ilgili sütunun toplam değerleri ifade edilmektedir. Bu adımda kolonların alt toplamları alınmalıdır (Bkz. Çizelge 3.3) (Saaty, 1977).

Çizelge 3.3. Kriterlerin ikili kıyaslama matrisi

	K_1	K_2	K_3	K_n
K_1	$a_{11}=1$	a_{12}	a_{13}	a_{1n}
K_2	$1/a_{12}$	$a_{22}=1$	a_{23}	a_{2n}
K_3	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	$a_{33}=1$	a_{3n}
K_n	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	$1/a_{3n}$	$a_{nn}=1$
$\sum a$	$S_1=\sum_{i=1}^{n} a_{i1}$	$S_2=\sum_{i=1}^{n} a_{i2}$	$S_3=\sum_{i=1}^{n} a_{i3}$	$S_n=\sum_{i=1}^{n} a_{in}$

Adım 4: Bu adımda her bir a_{ij} değeri ilgili kolon toplamına bölünerek normalize edilir ve aşağıdaki tabloda w_i ile gösterilen ağırlıklar, aşağıdaki tabloda gösterilen ilgili denklem ile elde edilirler (Bkz. Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Kriterlerin normalize edilmiş kıyaslama değerlerine ait ağırlıkların elde edilmesi

	K_1	K_2	K_3	K_n	w_i
K_1	a_{11}/S_1	a_{12}/S_2	a_{13}/S_3	a_{1n}/S_n	w_1
K_2	a_{21}/S_1	a_{22}/S_2	a_{23}/S_3	a_{2n}/S_n	w_2
K_3	a_{31}/S_1	a_{32}/S_2	a_{33}/S_3	a_{3n}/S_n	w_3
K_n	a_{n1}/S_1	a_{n2}/S_2	a_{n3}/S_3	a_{nn}/S_n	w_n
$\sum a$	S_1/S_1	S_2/S_2	S_3/S_3	S_n/S_n	$w_i = \left[\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{a_{ij}}{S_j}\right)\right]/n$

Adım 5: Bu adımda *n* mertebesindeki matrisin tutarlılığı değerlendirilir. Bu yöntemle yapılan karşılaştırmalar özneldir ve AHP, yaklaşımdaki belirli bir fazlalık oranı ile tutarsızlığı tolere eder. Bu tutarlılık indeksi gerekli bir seviyeye ulaşamazsa, karşılaştırmalara verilen cevaplar yeniden incelenmelidir. Tutarlılık indeksi, CI, Eş. 3.1 ile hesaplanır:

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \tag{3.1}$$

Burada λ_{max}, karşılaştırma matrisinin maksimum öz değeridir ve Eş. 3.2 ve Eş. 3.3 ile hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{3n} \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & a_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_m \end{bmatrix} \tag{3.2}$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{w_i} \tag{3.3}$$

CI, rastgele bir matris olan RI (rastgele doldurulmuş 500 matrisin ortalama CI değeri) ile kıyaslanır. Elde edilen oran, CI/RI, tutarlılık oranı, CR olarak adlandırılır. Saaty, CR değerinin 0,1'den az olması gerektiğini önermiştir (Bhushan ve Rai, 2007).

Saaty (1977), Çizelge 3.5'de gösterilen rastgele indeksleri hesaplamıştır. Bu çizelgede "n" matrisin derecesidir.

Çizelge 3.5. RI değerleri

n	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

AHP, ortak bir kriter kapsamında bir alternatifin diğerine göre önem kıyaslamasına dayalı olarak her alternatif için ağırlık değerleri üretir. AHP analitiktir, karara varmak için matematiksel ve mantıksal akıl yürütme, AHP'nin üstün yanıdır. Karar problemini mantıklı bir zeminde analiz etmeye yardımcı olur ve karar vericilerin sezgilerini ve içgüdülerini başkaları tarafından açıkça sorgulanabilen ve başkalarına da açıklanabilen sayılara dönüştürmeye yardımcı olur.

AHP, sorunu bir hiyerarşi olarak yapılandırır. Hiyerarşik ayrıştırma, insanın doğasında vardır. Karmaşık bir sorunu birer birer ele alınacak alt problemlere indirgemek, karar vericilerin çalıştığı temel yoldur. Psikolojik araştırmalardan elde edilen kanıtlar, insanların bir seferde 7±2 şeyi karşılaştırabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, büyük ve karmaşık bir karar verme problemiyle başa çıkmak için bir hiyerarşi olarak ele almak esastır. AHP bunu sağlamaktadır (Bhushan ve Rai, 2007).

AHP, kullanımı kolay ve esnek olan çok kriterli bir karar verme yöntemidir. Çoklu ve bazen çelişen kriterler içeren karmaşık problemlerin ele alınmasına izin verir. İnsanın doğuştan gelen karşılaştırma yapma eğilimine dayandığından, birçok alana ve farklı sorunlara uygundur. Karar verme için AHP kullanmanın avantajları arasında, kriterlerin farklı önemlerini göz önünde bulundurma ve sonuç olarak bazı kriterlerin karara hâkim olması için farklı ağırlıklar atama fırsatı sunmasıdır. AHP'nin keşfinden sonra gelişimini araştıran Emrouznejad ve Marra (2017) 'nın çalışmasına göre, AHP; matematiksel metotlarda, işletme ve yönetiminde, ekonomide, sağlık ve sosyal bilimlerde, bilgisayar biliminde, enerji sektörü ve üretimde, makine mühendisliğinde, çevre bilimi ve teknoloji alanında, malzeme

biliminde, ekoloji biliminde, sosyal çalışmalarda ve jeoloji bilimlerinde ağırlıkla kullanılmıştır. Ayrıca bulanık mantık gibi birçok yöntem ile birlikte entegre yöntemler keşfedilmiştir.

AHP yönteminin dezavantajı, karar vericilerin keyfi olarak farklı kıyaslama değerleri verebilir olmasıdır. Ön yargılı olarak keyfi verilen bu bilgiler birçok tutarlılık analizinden de geçebilmektedir. Her metot gibi doğru sonuçları elde etmeyi hedefleyen AHP metodunu iyileştirmek ve bu sorunla başa çıkabilmek için birçok araştırmacı çeşitli tutarsızlık yöntemleri geliştirmiştir. Bazı araştırmacılar ise bu sorunun önüne geçmek için grup yargılarının kullanılması gerektiğini önermişlerdir. Bu yaklaşım ile kişisel yanlış yargıların bir nebze önüne geçilmiş olmaktadır (Emrouznejad ve Marra, 2017).

3.2.2. Yapay Sinir Ağları

YSA, biyolojik sinir ağlarının yapısını ve işlevlerini simüle etmeye çalışan, tarafsız olarak uygulanabilen, güncel ve popüler matematiksel bir modeldir. Her yapay sinir ağının temel yapı taşı yapay bir nörondur, yani basit bir matematiksel fonksiyondur ve işlemler nöronlarda yapılır fakat öğrenme bilgileri nöronları birbirine bağlayan bağlantılarda tutulur. Yapay sinir ağları deneyimden öğrenir ve bu muhakeme yeteneği sonradan kullanmak üzere çeşitli yöntemler ile dış ortama aktarılabilir. Öğrenme süreci tamamlandığında, ağ edinilen bilgiyi genelleştirebilir ve şimdiye kadar bilinmeyen çözümlerin tahmin edilmesini sağlar. Yapay nöronlar arasındaki yüksek sayıdaki ara bağlantılar sayesinde, iç yapısının bir kısmı bir dereceye kadar bozulursa, sinir ağı hataya dayanıklı bir sistem haline gelir. Bu özelliği YSA'ları belirli bir oranda hataya karşı toleranslı kılar. Bir sinir ağı tarafından öğrenilen belirli bir sürecin davranışı hakkındaki bilgi, yapay nöronlar arasındaki çeşitli sinapsların her birinde depolanır, bu nedenle bazı nöronların kaybolması durumunda yapı sağlamlığını korur.

Yapay öğrenme aşaması beynimizin öğrenme aşamalarını taklit eder. Nasıl ki beynimizdeki öğrenme faaliyeti sinir hücreleri vasıtasıyla yapılıyorsa, yapay öğrenme faaliyeti de yapay sinir hücreleri ile yapılmaktadır. Mühendislik biliminde yapay sinir hücreleri, proses elamanları ismi ile adlandırılmaktadır (Öztemel, 2006). Yapay sinir ağları, mühendislik ve bilimlerle ilgili birçok problemde kullanılabilir. Potansiyel uygulama alanları aşağıdaki gibi ayrılabilir (Da Silva vd., 2017):

a. Evrensel eğri uydurma (fonksiyon yaklaşımı)

Buradaki amaç, belirli bir sistemin değişkenleri (genellikle gerçek sayılar) arasındaki işlevsel ilişkinin haritalanmasıdır. Bu uygulamalar çok çeşitlidir ve genellikle geleneksel yöntemlerle modellenmesi zor olan yapısal süreçleri içerir.

b. Proses kontrolü

Bu uygulama kategorisi, kalite, verimlilik ve güvenlik gereksinimlerini karşılama kapasitesine sahip kontrol eylemlerinin belirlenmesinden oluşur. Mevcut çoklu uygulamalar arasında, nöral kontrolörler özellikle robotlar, uçaklar, asansörler, aletler, uydular ve benzerleri için ilgi odağı olmuştur.

c. Tanımlama ve sınıflandırma

Amaç, görüntü, konuşma ve yazı tanıma durumunda olduğu gibi, belirli bir girdi modelini (örnek) önceden tanımlanmış sınıflardan biriyle ilişkilendirmektir. Bu durumda, ele alınan problemin ayrı ve bilinen bir olası istenen çıktılar kümesi vardır.

d. Veri kümeleme

Bu durumdaki amaç, gruplandırmalarına (kümelenmesine) izin vermek için çeşitli girdi modellerinin benzerliklerini ve özelliklerini tespit etmek ve belirlemektir. Buna otomatik sınıf tanımlama ve veri madenciliğini içeren uygulamalardır.

e. Tahmin sistemi

Bu sistem kategorisinin amacı, kendi alanında gözlemlenen birkaç önceki örneği dikkate alarak belirli bir sürecin gelecekteki değerlerini tahmin etmektir. Bilinen uygulamalar arasında kur tahmini, borsa tahmini, hava tahmini vb. için sistemler bulmak mümkündür.

f. Sistem optimizasyonu

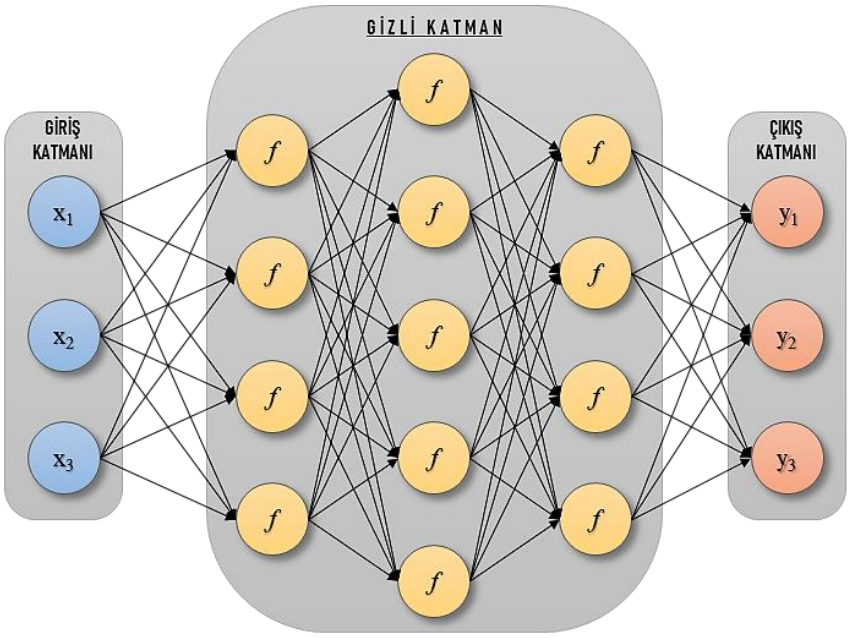
Amaç, bir problemi doğru bir şekilde haritalamak için nihai kısıtlamalara uyarak bir maliyet fonksiyonunu (hedef) en aza indirmek veya en üst düzeye çıkarmaktır. Yapay sinir ağlarından yararlanabilecek optimizasyon görevleri arasında en önemlileri kısıtlı optimizasyon problemleri, dinamik programlama ve kombinasyonel optimizasyonu içerir.

g. İlişkisel bellek

Amaç, iç unsurları belirsiz veya yanlış olduğunda bile doğru bir örüntü elde etmektir. Bazı örnekler, görüntü işleme, sinyal iletimi, yazılı karakter tanımlaması ve benzerlerini içerir.

Ağ yapısı

Yapay sinir ağlarının yapısı, kümelenmiş nöronlardan oluşmaktadır. Bir YSA yapısında üç temel küme grubu vardır: giriş katmanı, gizli katmanlar, çıkış katmanı (Bkz. Şekil 3.4). Her veri, önce giriş katmanından giriş yapar. Girdi katmanlarından onaylanan girdiyi işlemek için kullanılan birçok maskelenmiş katman vardır. Bu katmanlar gizli katman olarak adlandırılır. Veriler burada işlenerek yapıyı şekillendirir. Son olarak işlenmiş veriler çıkış katmanından yorumlanmış halde okunabilir (Patel Ha, 2020).



Şekil 3.4. YSA Temel küme grupları

Giriş katmanı

Giriş katmanı sinir ağının başlangıç katmanıdır. Bu katman, sinir ağının dış dünya ile irtibatta olduğu kısımdır. Bu katman sadece girdileri alır ve gizli katmanlara iletir. Her giriş nöronu sonucu etkileyen otonom değişken özelliğindedir. Şekil 3.4'deki yapıda giriş katmanına ait 3 adet yapay hücre gösterilmiştir (Patel Ha, 2020).

Gizli katman

Gizli katman, YSA ağında giriş katmanı ile çıkış katmanı arasında yer alan küme grubudur. Bu nedenle katman, giriş verilerinin temel özelliklerini ayıklamak ile görevlidir. Bu katmanda fonksiyonel dönüştürme işlevine sahip hücreler bulunur. Bu hücreler tek küme halinde bulunabileceği gibi birden fazla kümelenmiş hücrelerden oluşabilir. Küme sayısı problemin derinliğine ve ihtiyaç duyulan esnek çözüme göre artar (Patel Ha, 2020).
Şekil 3.2'de gösterilen YSA yapısında 4 küme gizli katman bulunmaktadır. Bu kümelerden birincisinde 4 yapay nöron hücresi, ikincisinde 5, üçüncüsünde ise tekrar 4 hücre bulunmaktadır. Dikkat edilirse, her bir yapay hücre, kendisinden bir önceki kümede yer alan tüm hücrelere bağlıdır ev bu hücrelerden bilgi alır. Bu durum yapay sinir ağlarında ana kurallardan biridir. Bir ilişki olmasa bile bunu bağlantı ağırlığının kendisi bulması gerekir.

Gizli katmandaki küme sayısı ve kümelerdeki hücre sayıları ile birçok çalışma yapılmıştır fakat net bir sonuç elde edilememiştir. Fakat şu söylenebilir ki, bu sayılar problemin ne kadar doğrusal olmadığıyla ilgilidir. Doğrusal bir problem ele alınacak olursa, giriş katmanı doğrudan çıkış katmanına bağlanarak çözüm elde edilebilir. Bu durumda gizli katmana ihtiyaç duyulmaz. Bazı problemler için ise, karmaşık kararlar ortaya çıktığında, problemin zorluk derecesine veya esas olan doğrusallık derecesine bağlı olarak 3, 4 veya 5 orta katman kullanılır. Katman sayısını artması, sinir ağının büyük doğruluk sağlayacağı ifadesi doğru değildir. Bu durum, eğitilmiş bir ağın katman sayısını ve buna bağlı hücrelerinin artırılması ile ispatlanabilir (Patel Ha, 2020).

Çıkış katmanı

Bu katman, bağlantıdaki son katmandır ve gizli katmandaki son kümeden girdileri alır. Bu katmanda veriler toplanır ve sonuç olarak planlanan yöntemde çıkış verileri dışarı aktarılır.

Verilerin nasıl yorumlanacağı, gruplanacağı ve okunacağı bu katmanda şekillenir. Şekil 3.4'te gösterilen yapıda çıkış katmanına ait 3 adet hücre bulunmaktadır.

Ağ yapısı bileşenleri

YSA hücrelerinin üç basit kuralı vardır: çarpma, toplama ve etkinleştirme. Hücrenin girişinde veriler ağırlıklandırılır, yani her girdi değeri bireysel ağırlıkla çarpılır. Yapay nöronun orta bölümünde, tüm ağırlıklı girdileri toplayan bir toplama fonksiyonu bulunur. Toplanan ağırlıklı girdiler ve BIAS değeri, öğrenme ağı için uygun görülen ve transfer fonksiyonu olarak da adlandırılan aktivasyon fonksiyonundan geçmektedir (Bkz. Şekil 3.5) (Krenker vd., 2011).

Da Silva vd. (2017), kitabında bir yapay sinirin bileşenlerini aşağıdaki gibi açıklamıştır;

a. *Giriş sinyalleri* (x_i), dış ortamdan gelen ve belirli bir uygulamanın değişkenleri tarafından kabul edilen değerleri temsil eden sinyaller veya örneklerdir. Öğrenme algoritmalarının hesaplama verimliliğini artırmak için giriş sinyalleri genellikle normalleştirilir (Şekil 3.4'te gösterilen x_1, x_2, x_3)

b. *Sinaptik ağırlıklar* (w_i), girdi değişkenlerinin her birini ağırlıklandırmak için kullanılan değerlerdir. Öğrenmenin ve rastlantısallığın büyük ölçüde anlam bulduğu yerdir.

c. *Doğrusal toplayıcı* ($\sum$), bir aktivasyon voltajı üretmek için sinaptik ağırlıklarla ağırlıklandırılmış tüm giriş sinyallerini toplar.

d. *Aktivasyon eşiği veya bias* (θ), doğrusal toplayıcı tarafından üretilen sonucun nöron çıkışına doğru bir tetikleyici değer üretmesi gereken uygun eşiği belirtmek için kullanılan bir değişkendir.

e. *Aktivasyon potansiyeli* (u), doğrusal toplayıcı ve aktivasyon eşiği arasındaki fark tarafından üretilen sonuçtur. Bu değer pozitifse, yani $u \geq \theta$ ise, nöron uyarıcı bir potansiyel üretir; aksi takdirde engelleyici olacaktır.

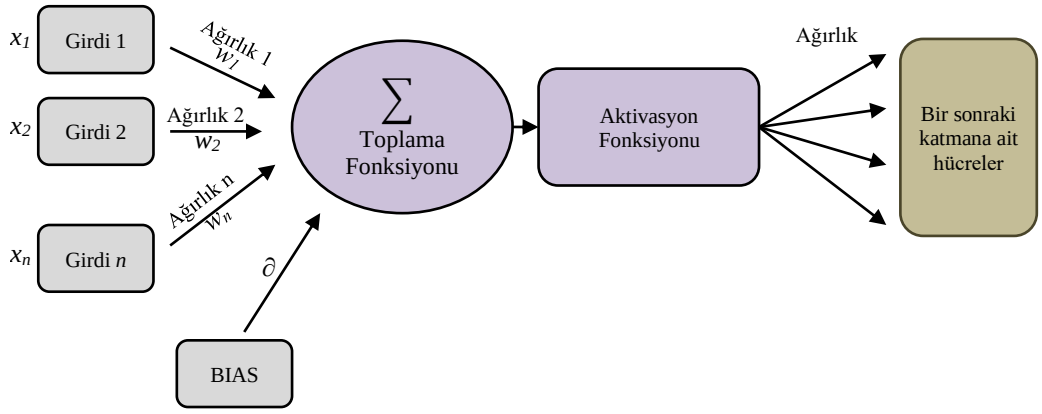
f. *Aktivasyon fonksiyonu* (g), nöron çıkışını kendi işlevsel görüntüsü tarafından kabul edilen makul bir değer aralığı içinde sınırlamayı amaçlar.

g. *Çıkış sinyali* (y), belirli bir giriş sinyali seti verilen nöron tarafından üretilen nihai değerden oluşur ve ayrıca sıralı olarak birbirine bağlı diğer nöronlar için girdi olarak kullanılabilir.

Eş. 3.4 ve Eş. 3.5, Mcculloch ve Pitts (1943) tarafından önerilen yapay nöronu temsil eder:

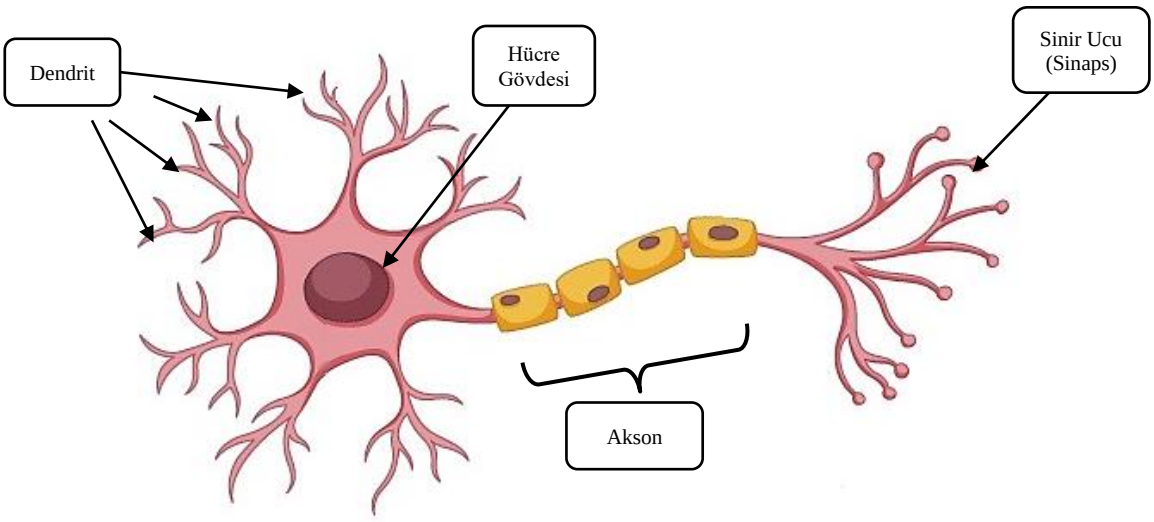
$$u = \sum_{i=1}^{n} w_i \cdot x_i - \theta \tag{3.4}$$

$$y = g(u) \tag{3.5}$$



Şekil 3.5. Bir yapay sinir ağı hücresi

Beyin, nöron adı verilen çok sayıda (yaklaşık 10^{11}) yüksek düzeyde bağlantılı elemandan (eleman başına yaklaşık 104 bağlantı) oluşur. Bu nöronların üç temel bileşeni vardır: dendritler, hücre gövdesi ve akson. Dendritler, elektrik sinyallerini hücre gövdesine taşıyan ağaç benzeri alıcı sinir lifi ağlarıdır. Hücre gövdesi, gelen bu sinyalleri etkin bir şekilde toplar ve eşikler. Akson, hücre gövdesinden gelen sinyali diğer nöronlara taşıyan tek uzun bir liftir. Bir hücrenin aksonu ile başka bir hücrenin dendriti arasındaki temas noktasına sinaps denir. Şekil 3.6'da bir biyolojik nöronun basitleştirilmiş şematik gösterimi verilmiştir (Hagan Martin vd., 2014).



Şekil 3.6. Bir biyolojik nöronun basitleştirilmiş gösterimi

Sinir ağları, örneğin bir dizi "eğitim" verisindeki yapıları tanımayı öğrenebilir ve bir dereceye kadar öğrendiklerini genelleştirebilir. Bir eğitim seti, ağın öğrenmesi beklenen girdi-netice şeklindeki kalıpların listesidir. Yapay sinir ağları, nöronları arasındaki bağlantı ağırlıklarını ayarlayarak bu tür verileri çok doğru bir şekilde sınıflandırmak için eğitilebilir ve yeni verilerin eğitim verilerinden çok farklı olmaması koşuluyla sonucu tahmin edebilir. Bu duruma örnek verecek olursak, örneğin kendi kendini süren bir araba tarafından çekilen kamera görüntülerinde objelerin tanınmasıdır. Görsel nesne tanımadaki başarısı, makine öğrenimine olan ilgiyi son derece artırmıştır (Krenker vd., 2011).

Yapay nöron modeline ait yukarıdaki denklemden görüldüğü gibi, modelin en büyük bilinmeyen değişkeni transfer (aktivasyon) fonksiyonudur. Transfer fonksiyonu, yapay nöronun özelliklerini tanımlar ve herhangi bir matematiksel fonksiyon olabilir. Bu fonksiyon seçimi, yapay sinir ağının çözmesi gereken problem türüne göre yapılır (Krenker vd., 2011).

Çözüm aranan problem ne kadar karmaşık olursa olsun, yapay sinir hücreleri birbirlerine bağlanarak problemi anlayabilir hale getirilebilir. Yapay hücreler arasındaki bağlantılar arttıkça ağın şekillenmesi için gerekli veri ihtiyacı da artacağından, her problem için çok karmaşık ağ yapıları tercih edilmez. Öğrenme ağı sadece sayılarla değil, öğrenme teknikleriyle ve ağın gelişme yönlerine göre de farklılık gösterir (Krenker vd., 2011).

Yapay sinir ağlarının en büyük avantajlarından biri, çevrelerinden öğrenebilmeleridir. Çevreden öğrenme yöntemi, diğer hesaba ve mantığa dayalı yöntemlerin işe yaramadığı durumlarda çok faydalı olmaktadır. Bu tür durumlarda yapay sinir ağları, sınıflandırma, fonksiyon yaklaşımı, veri işleme, filtreleme, kümeleme, sıkıştırma, robotik davranışlar, düzenlemeler, karar verme gibi çeşitli görevler için kullanılabilir. Doğru yapay sinir ağı yapısının seçilmesi, uygulamanın tipine ve verilen bir problemin verisine bağlıdır. Yapay sinir ağlarını seçerken ve kullanırken, yapay sinir ağı modelleri teorisine ve öğrenme algoritmalarına aşina olmamız gerekir. Seçilen modelin karmaşıklığı çok önemlidir; Belirli bir görev için basit modeli kullanmak genellikle zayıf veya yanlış sonuçlarla sonuçlanır ve belirli bir görev için aşırı karmaşık model, öğrenme sürecinde sorunlara yol açabilir. Karmaşık model ve basit görev öğrenme değil ezberlemeyle sonuçlanır. Aralarında çok sayıda ödünleşim bulunan birçok öğrenme algoritması vardır ve hemen hemen hepsi her tür yapay sinir ağı modeli için uygundur. Belirli bir görev için doğru öğrenme algoritmasını seçmek, verilen problem ve veri seti üzerinde çok fazla deneyim ve deney gerektirir. Yapay sinir ağı modeli ve öğrenme algoritması doğru seçildiğinde, verilen problemi çözmek için sağlam bir araç elde ederiz (Krenker vd., 2011).

Temel YSA mimarileri

Yapay bir sinir ağının mimarisi, birkaç nöronunun birbirine göre nasıl düzenlendiğini veya yerleştirildiğini tanımlar. Bu düzenlemeler esas olarak nöronların sinaptik bağlantılarını yönlendirerek yapılandırılır.

Belirli bir mimari içindeki belirli bir sinir ağının topolojisi, üstlenebileceği farklı yapısal kompozisyonlar olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle, aynı mimariye ait iki topolojiye sahip olmak mümkündür; birinci topoloji 5 nörondan, ikinci topoloji ise 10 nörondan oluşabilir. Ayrıca, biri lojistik aktivasyon fonksiyonuna sahip nöronlardan oluşabilirken, diğeri aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjantlı nöronlardan oluşabilir.

Öte yandan, belirli bir mimariyi eğitmek, nöronlarının ağırlıklarını ve eşiklerini ayarlamak için bir dizi koordineli adım uygulamayı içerir. Bu nedenle, öğrenme algoritması olarak da bilinen bu ayarlama işlemi, ağın çıktılarının istenen değerlere yakın olması için ağın ayarlanmasını amaçlar.

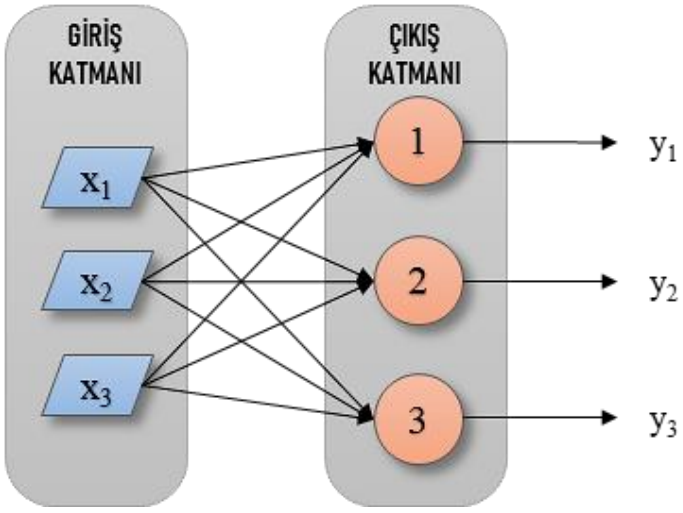
Yapay sinir ağlarının ana mimarileri, nöronların yerleşimi ve bunların nasıl birbirine bağlı olduğu ve katmanlarının nasıl oluştuğu dikkate alınarak aşağıdaki gibi bölünebilir; tek katmanlı ileri beslemeli ağ, çok katmanlı ileri beslemeli ağlar, tekrarlayan ağlar/geri besleme ve örgü ağları (Da Silva vd., 2017).

i. Tek Katmanlı İleri Besleme Mimarisi (Single-Layer Feedforward)

Bu yapay sinir ağı, yalnızca bir giriş katmanına ve aynı zamanda çıkış katmanı olan tek bir sinir katmanına sahiptir. Şekil 3.7'te, 3 adet girdi ve 3 adet çıktıdan oluşan basit katmanlı ileri beslemeli bir ağı göstermektedir.

Bilgi her zaman giriş katmanından çıkış katmanına tek bir yönde (dolayısıyla tek yönlü) akar. Şekil 3.7'de, bu mimariye ait ağlarda, ağ çıktılarının sayısının her zaman nöron sayısıyla çakışacağını görmek mümkündür. Bu ağlar genellikle sınıflandırma ve doğrusal filtreleme problemlerinde kullanılır (Da Silva vd., 2017; Krenker vd., 2011).

İleri beslemeli mimariye ait ana ağ türleri arasında, eğitim süreçlerinde kullanılan öğrenme algoritmaları sırasıyla Hebb kuralı ve Delta kuralına dayalı olan Perceptron ve Adaline yer almaktadır.



Şekil 3.7. İleri beslemeli YSA mimarisi

ii. Çok Katmanlı İleri Besleme Mimarisi (Multi-Layer Feedforward)

Önceki mimariye ait ağlardan farklı olarak, çok katmanlı ağlar, bir veya daha fazla gizli sinir katmanından oluşur. Fonksiyon yaklaşımı, sınıflandırma, sistem tanımlaması, süreç kontrolü, optimizasyon, robotlar vb. çeşitli problemlerin çözümünde kullanılırlar.

Çok katmanlı ileri beslemeli mimarileri kullanan ana ağlar arasında, eğitim süreçlerinde kullanılan öğrenme algoritmaları sırasıyla genelleştirilmiş delta kuralına ve rekabetçi/delta kuralına dayanan Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) ve Radyal Temel Fonksiyonu (RBF) bulunmaktadır (Da Silva vd., 2017; Patel Ha, 2020).

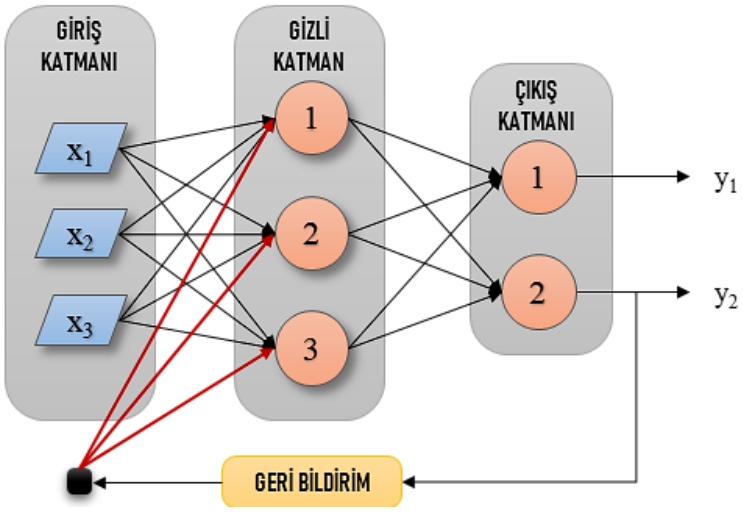
Gizli katmanların sayısı ve ilgili nöronların miktarı, ağ tarafından haritalanan problemin doğasına, karmaşıklığına, ayrıca problemle ilgili mevcut verilerin miktarına ve kalitesine bağlıdır. Bununla birlikte, tek katmanlı ileri beslemeli ağlar için benzer şekilde, çıkış sinyallerinin miktarı her zaman ilgili katmandan gelen nöronların sayısı ile çakışacaktır (Da Silva vd., 2017; Maynard, 2020).

iii. Tekrarlayan/Geri Besleme Mimari (Multi-Layer Feedforward)

Bu ağlarda nöronların çıktıları diğer nöronlar için geri besleme girdileri olarak kullanılır. Geri besleme özelliği, bu ağları dinamik bilgi işleme için nitelendirir, yani zaman serisi tahmini, sistem tanımlama ve optimizasyon, süreç kontrolü ve benzeri gibi zamanla değişen sistemlerde kullanılabilirler (Da Silva vd., 2017).

Ana geri besleme ağları arasında, eğitim süreçlerinde kullanılan öğrenme algoritmaları sırasıyla enerji fonksiyonu minimizasyonu ve genelleştirilmiş delta kuralına dayanan, farklı katmanlardan nöronlar arasındaki geri beslemeli Hopfield ve Perceptron bulunmaktadır (Da Silva vd., 2017; Patel Ha, 2020).

Şekil 3.8’de, çıkış sinyallerinden birinin orta katmana geri beslendiği geri beslemeli bir perceptron ağı örneğini gösterilmiştir. Böylece bu mimariye sahip ağlar, geri besleme sürecini kullanarak önceki çıkış değerlerini de dikkate alarak güncel çıkışlar üretir.

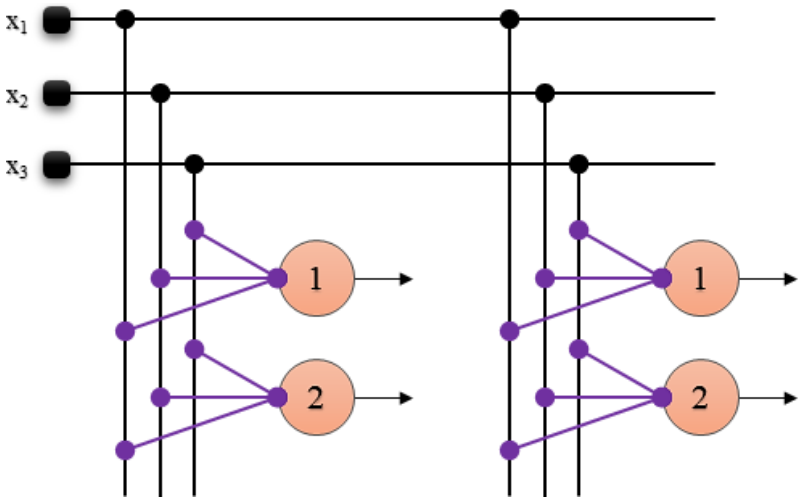


Şekil 3.8. Geri beslemeli YSA mimarisi

iv. Örgü Mimari (Mesh Architecture)

Örgü yapılarına sahip ağların ana özellikleri, küme çıkarma amaçları için nöronların uzamsal düzenlemesinin dikkate alınmasında bulunur, yani nöronların uzamsal lokalizasyonu, sinaptik ağırlıklarını ve Seşiklerini ayarlama süreci ile doğrudan ilişkilidir. Bu ağlar çok çeşitli uygulamalara hizmet eder ve veri kümeleme, örüntü tanıma, sistem optimizasyonu, grafikler vb. içeren problemlerde kullanılır (Da Silva vd., 2017).

Kohonen ağı, örgü mimarilerinin ana temsilcisidir ve eğitimi rekabetçi bir süreçle gerçekleştirilir. Şekil 3.9'da, nöronlarının iki boyutlu bir uzayda düzenlendiği Kohonen ağının bir örneğini göstermektedir (Da Silva vd., 2017; Maynard, 2020).



Şekil 3.9. Kohonen ağı mimarisi

Eğitim Süreçleri ve Öğrenme Türleri

Yapay sinir ağlarının en alakalı özelliklerinden biri, sistem davranışını ifade eden örneklerden (kümelerden) öğrenme yetenekleridir. Bu nedenle ağ, girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiyi öğrendikten sonra, çözümleri genelleştirebilir, yani ağın herhangi bir verili girdi değerinin beklenen (veya istenen) çıktısına yakın bir çıktı üretebileceği anlamına gelir (Da Silva vd., 2017).

Bu nedenle, bir sinir ağının eğitim süreci, çıktıları tarafından üretilen çözümleri genelleştirmek için nöronlarının sinaptik ağırlıklarını ve eşiklerini ayarlamak için gerekli koordineli adımların uygulanmasından oluşur (Da Silva vd., 2017; Maynard, 2020).

Ağı eğitmek için kullanılan koordineli adımlar dizisine öğrenme algoritması denir. Yürütülmesi sırasında, ağ, sistemden alınan örneklerden haritalanan sistemle ilgili ayırt edici özellikleri çıkarabilecektir (Da Silva vd., 2017; Fukami vd., 2020).

Genellikle, sistem davranışının mevcut tüm örneklerini içeren tam set, eğitim alt kümesi ve test alt kümesi olarak adlandırılan iki alt kümeye bölünür. Tüm setten rastgele örneklerin %60-90'ından oluşan eğitim alt seti, öğrenme sürecinde esas olarak kullanılacaktır. Öte yandan, tüm örnek setin %10-40'ından oluşan test alt kümesi, genelleştirme çözümlerinin ağ yeteneklerinin kabul edilebilir seviyelerde olup olmadığını doğrulamak için kullanılacak ve böylece belirli bir topolojinin doğrulanmasına izin verilecektir. Bununla birlikte, bu alt kümeleri boyutlandırırken, verilerin istatistiksel özellikleri de dikkate alınmalıdır. Yapay sinir ağlarının eğitim sürecinde, sinaptik ağırlıkları ve eşikleri ayarlamak için eğitim setine ait tüm örneklerin eksiksiz sunumuna eğitim dönemi (training epoch) adı verilir (Da Silva vd., 2017).

i. Denetimli Öğrenme (Supervised Learning)

Denetimli öğrenme stratejisi, belirli bir giriş sinyali kümesi için istenen çıkışların mevcut olmasını içerir; başka bir deyişle, her eğitim örneği, giriş sinyallerinden ve bunlara karşılık gelen çıkışlardan oluşur. Bu durumda, denetimli öğrenmenin uygulanması yalnızca ilgili öznitelik/değer tablosunun kullanılabilirliğine bağlıdır ve bir "eğitimci" ağa girdisi için

sunulan her örnek için doğru yanıtın ne olduğunu öğretiyormuş gibi davranır (Da Silva vd., 2017; Patel Ha, 2020).

Ağın sinaptik ağırlıkları ve eşikleri, düzeltme prosedürü ile, istenen çıktılara göre üretilen çıktılar arasındaki uyuşmazlığı denetleyen, öğrenme algoritmasının kendisi tarafından yürütülen karşılaştırmalı eylemlerin uygulanması yoluyla sürekli olarak ayarlanır, güncellenir. Çözümlerin genelleştirilmesi amaçları dikkate alınarak, bu tutarsızlık kabul edilebilir bir değer aralığında olduğunda ağ "eğitilmiş" olarak kabul edilir. Denetimli öğrenme, ağın serbest değişkenlerinin araştırılan sistem için istenen çıktıları önceden bilerek ayarlandığı tipik bir saf tümevarım çıkarım durumudur (Da Silva vd., 2017).

ii. Denetimsiz Öğrenme (Unsupervised Learning)

Denetimli öğrenmeden farklı olarak, denetimsiz öğrenmeye dayalı bir algoritmanın uygulanması, ilgili istenen çıktılar hakkında herhangi bir bilgi gerektirmez. Bu nedenle, tüm örnek kümesini oluşturan öğeler arasında benzerlikler sunan alt kümeleri (veya kümeleri) tanımlayan mevcut özellikler olduğunda ağın kendisini düzenlemesi gerekir. Öğrenme algoritması, ağın kendi içindeki bu kümeleri yansıtmak için ağın sinaptik ağırlıklarını ve eşiklerini ayarlar. Alternatif olarak, ağ tasarımcısı, problem hakkındaki deneyimini kullanarak bu olası kümelerin maksimum veri miktarını önceden belirleyebilir.

iii. Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning)

Takviyeli öğrenmeye dayalı yöntemler, ağ tarafından üretilen yanıt ile karşılık gelen istenen çıktı arasındaki farkı sürekli olarak analiz ettikleri için, denetimli öğrenme tekniklerinin bir varyasyonu olarak kabul edilir. Takviyeli öğrenmede kullanılan öğrenme algoritmaları, haritalanan sistem (çevre) ile etkileşim yoluyla elde edilen herhangi bir nitel veya nicel bilgiye dayanarak dahili nöral parametreleri ayarlar ve bu bilgiyi öğrenme performansını değerlendirmek için kullanır (Da Silva vd., 2017; Patel Ha, 2020).

Ağ öğrenme süreci genellikle deneme yanılma yoluyla yapılır, çünkü belirli bir girdi için mevcut tek yanıt, tatmin edici veya yetersiz olup olmadığıdır. Tatmin ediciyse, sistemle ilgili bu davranışsal koşulu güçlendirmek (ödüllendirmek) için sinaptik ağırlıklar ve eşikler kademeli olarak artırılır. Takviyeli öğrenme tarafından kullanılan birkaç öğrenme

algoritması, tatmin edici sonuçlar üretme şansları varsa ödüllendirilebilecek sonlu bir olası çözümler kümesini göz önünde bulundurarak, ayarlama eylemlerini olasılıksal olarak seçen stokastik yöntemlere dayanmaktadır. Eğitim sürecinde, ağ performansını artırmak için eylem düzeltmesi ile ilgili olasılıklar değiştirilir (Da Silva vd., 2017; Fukami vd., 2020).

iv. Çevrimdışı Öğrenme (Offline Learning)

Toplu öğrenme olarak da adlandırılan çevrimdışı öğrenmede, tüm eğitim seti sunulduktan sonra ağın ağırlık vektörleri ve eşiklerinde ayarlamalar yapılır, çünkü her bir ayarlama adımı, çıktıları için istenen değerlere göre eğitim örneklerinde gözlemlenen hataların sayısını hesaba katar. Bu nedenle, çevrimdışı öğrenme kullanan ağlar, ağırlıkları ve eşikleri üzerinde bir ayarlama adımını yürütmek için en az bir eğitim dönemi gerektirir. Bu nedenle, tüm eğitim örnekleri tüm öğrenme süreci boyunca mevcut olmalıdır (Da Silva vd., 2017; Maynard, 2020).

v. Çevrimiçi Öğrenme (Offline Learning)

Çevrimdışı öğrenmenin aksine, çevrim içi öğrenmede, her bir eğitim örneği sunulduktan sonra ağın ağırlıkları ve eşikleri üzerinde ayarlamalar yapılır. Böylece, ayarlama adımı gerçekleştirildikten sonra ilgili numune atılabilir. Bu yapılandırmayla çevrimiçi öğrenme, genellikle, haritalanan sistemin davranışı hızla değiştiğinde kullanılır, bu nedenle, belirli bir anda kullanılan örnekler, arka anlardaki sistem davranışını artık temsil etmeyebileceğinden, çevrimdışı öğrenmenin benimsenmesi neredeyse pratik değildir. Bununla birlikte, modeller birer birer sunulduğundan, ağırlık ve eşik ayarlama eylemleri iyi konumlandırılmış ve dakiktir ve sistemin belirli bir davranışsal durumunu yansıtırlar. Bu nedenle, ağ önemli sayıda örnek sunduktan sonra doğru yanıtlar vermeye başlayacaktır (Da Silva vd., 2017).

Öğrenme biçimleri ve ağın topoğrafik yapısı çeşitliliği neticesiyle günümüze kadar birçok ağ modeli oluşturulmuştur. Bunlardan dünya çapında kabul görmüş olanları şunlardır;

- Perceptron Ağı.
- Adaline Ağı ve Delta Kuralı
- Çok katmanlı Perceptron Ağları
- Radyal Tabanlı Ağlar

- Tekrarlayan Hopfield Ağları
- Öz-düzenlemeli Kohonen Ağları
- LVQ (Öğrenme Vektor Parçalama) ve Sayıcı-Yayılım Ağları
- ART (Adaptive Resonance Teorisi) Ağları

3.2.3. Ön Bilgilendirilmiş Yapay Öğrenme Metodu (PIALM)

Öğrenme, ders çıkarma ve çıkarsama yapma yetenekleri doğada fiziksel olarak en güçlü olmasa bile insanoğlunu diğer bütün canlılardan üstün kılmıştır. Basit olarak öğrenme eylemi, etkiye karşı oluşan tepkinin hafızada saklanması olayı olarak düşünülebilir. Bazen bir tepkinin oluşabilmesi için birden fazla etkinin oluşması, hatta bu etkilerin belirli ölçeklerde ve sayıda olması gerekebilir.

Öğrenme aşamasında geçmiş veri sayısını uygulanabilir seviyelere indirmek ve yapay öğrenme ağının yükünü azaltmak maksadıyla ikinci bir metot giriş katmanını anlamlandırmak amacıyla çalışmaya katılmıştır. Bilinmektedir ki bir öğrenme ağının başarısı, çok sayıda doğru veri ile doğru orantılıdır. Belirsizliği yüksek olan durumların öğrenilmesinde takdir edilir ki her zaman doğru veriler oluşmayabilir ve öğrenme ağı yanlış tahmin eden bir ağ haline gelebilir. Bu çalışma için örneğin her şeyin yolunda olduğu bir durumda bile çalışanlar iş kazasına maruz kalabilir. Yapay sinir ağları bu gibi durumlarda belirli bir oranda tolerans gösterir. Bunun gibi durumlarda doğru veri sayısı ağın kalitesi için çok önemlidir.

Ön bilgilendirme olmayan YSA’da, örneğin düşen cisim çarpması kazasına karşı, toz maskesi ve baret eşit önemde öğrenme ağına giriş yapar ve geçmiş kaza verileri ile ilişkilendirildikçe, düşen cisimlerde baretin, toz maskesine karşı daha koruyucu olduğunu öğrenir. Ön bilgilendirmeli yapay sinir ağlarında ise yapılan bu ön işleme adımı ile bu bilgi öğrenme ağına başta verilmektedir. Bu sayede ihtiyaç duyulan geçmiş veri sayısı ciddi oranda azalmakta ve daha sağlıklı bir öğrenme yapısı ortaya çıkmaktadır.

Ön bilgilendirme aşaması

Bu aşama, AHP metodu ile elde edilen ağırlıkların yapay sinir ağına tanıtılmasını kapsamaktadır. AHP yöntemi, giriş verilerini grup toplamı 1 olacak şekilde, sonucu etkileme potansiyeline göre sayısal değerler verir. Bu sayısal değerler AHP tarafından üretilen ağırlık değerleridir ve nitel ifadelerin ikili kıyaslamalarına dayanır ve bu ikili kıyaslamalar konu ile ilgili uzmanlarca yapılır.

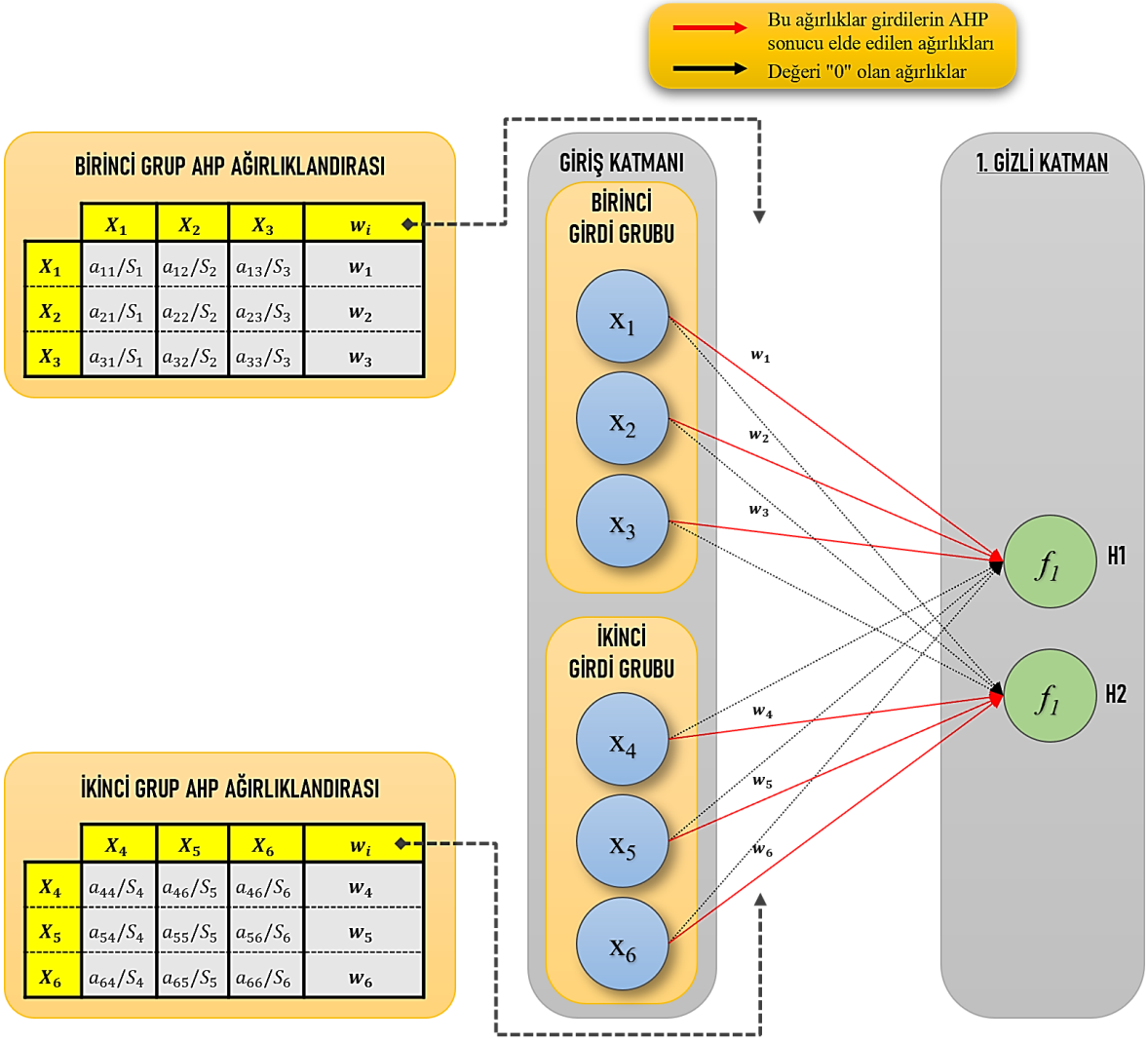
Bu aşamanın uygulanabilmesi için öncelikle girdi parametrelerinin gruplanması gerekir. Eğer girdi parametreleri tek grup ise, yani gruplama yok ise, AHP metodu ile hepsinin tek seferde ağırlıkları elde edilir. Eğer birden fazla grup var ise, her bir grup kendi içerisinde olmak üzere AHP analizleri yapılarak ağırlıkları elde edilir. Bu çalışmada giriş parametreleri (önlem yöntemleri) 3 grupta (TKY, KKD, KEM) tanımlandığı için giriş parametreleri kendi grupları içerisinde AHP metodu ile ağırlıklandırılmıştır.

Bu aşamanın amacı öğrenme ağındaki yükü hafifletmek ve öğrenme yönünü ağa göstermektir. AHP ile elde edilen ağırlıklar giriş katmanı ile birinci gizli katman arasında uygulanmalıdır ve her bir giriş parametresinden (x_i) çıkan ağırlıklar (w_i) AHP metodu ile elde edilmiş ağırlık olmalıdır. w_{ij}^{YSA} giriş katmanındaki i. giriş parametresinden, 1. katmanda bulunan j. hücreye giden ağırlık, w_i^{AHP} ise aynı i. parametrenin AHP metodu ile elde edilmiş ağırlığı olmak üzere, YSA ağırlıkları Eş. 3.6 ile elde edilir.

$$w_{ij}^{YSA} = w_i^{AHP} \tag{3.6}$$

AHP metodu ile elde edilen ağırlıklar grup içi ağırlıklarıdır ve global ağırlıklar olmadıkları için 1. katmandaki bir hücreye, farklı gruplardan veri girmemelidir. Bir grubun en az ağırlıklı parametresi, bir başka grubun en yüksek ağırlıklı parametresinden daha önemli olabilir. Dolayısıyla bu bağlantılar Şekil 3.10'da gösterildiği gibi "0" olmalıdır. Verilerin global etkileri YSA 1. katmanı ile çıkış katmanı arasında yapay öğrenme ile elde edilmektedir. Bu yapılan işlem ile bir girdi grubuna ait n sayıdaki girdi tek bir seviyeye indirgenmektedir ve ortaya bir toplam grup ağırlığı çıkmaktadır. Bu da en az giriş grubu sayısı kadar hücrenin (1. gizli katmanda) olması gerektiği anlamına gelmektedir. Giriş katmanından 1. gizli katmana giden bağlantıların ağırlıkları sabit ve biliniyor olması öğrenme ağı için ciddi oranda veri

ihtiyacını düşürmektedir. Ayrıca bu ön bilgilendirme sayesinde birinci gizli katmana giden herhangi bir bias (yanlama) değerine ihtiyaç kalmamıştır. Çünkü birinci katman ağırlıklarının doğruluğu AHP tutarlılığı ile ispatlanmıştır. Şekil 3.10'da iki girdi grubunun tek tip hücreye bağlantıları ve AHP ağırlıklarının tanımlanması gösterilmiştir.

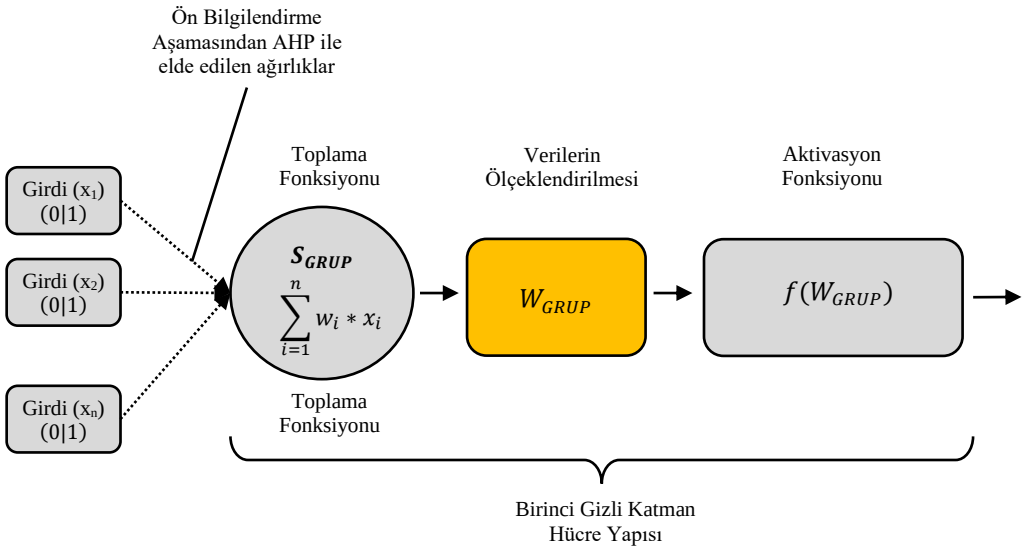


Şekil 3.10. İki girdi grubunun tek tip hücreye bağlantıları ve AHP ağırlıklarının tanımlanması

Yapay Öğrenme Aşaması

Giriş parametrelerinin sonuç ile doğru ilişkilendirilebilmesi 1. katmana yerleştirilecek hücrenin aktivasyon formülüne ve giriş parametrelerinin ölçeklendirilme yöntemine bağlıdır. Ölçekleme, kullanılacak olan aktivasyon fonksiyonuna göre değişkenlik göstermektedir. Ön bilgilendirme olmayan yapay sinir ağlarında olduğu gibi, ön

bilgilendirilmiş yapay sinir ağlarında da giriş verilerinin ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Fakat bu ölçeklendirme ön bilgilendirme olmayan ağlardaki gibi giriş katmanında yapılmaz, çünkü giriş katmanındaki veriler ve ilgili ağırlıkları zaten AHP metodu ile ölçeklenmiştir ve bu ölçek 0 ile +1 değerleri aralığındadır. Ancak, eğer negatif değerlere duyarlı bir aktivasyon fonksiyonu kullanılacak ise değerler -1 ile +1 değerleri aralığına ölçeklenmelidir. Ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağlarına ait işlem adımları şematik olarak aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Aşağıdaki şekilde de gösterildiği gibi giriş verilerinin ölçeklendirilmesi, veri grubunun bağlandığı hücre içindeki toplama fonksiyonundan sonra ve aktivasyon fonksiyonundan önce olmaktadır. Ölçekleme işlemi toplanmış grup değerleri yani S_{GRUP} değerleri arasında yapılmalıdır. Ölçeklenmiş yeni değerler W_{GRUP} olarak adlandırılır (Bkz. Şekil 3.11).



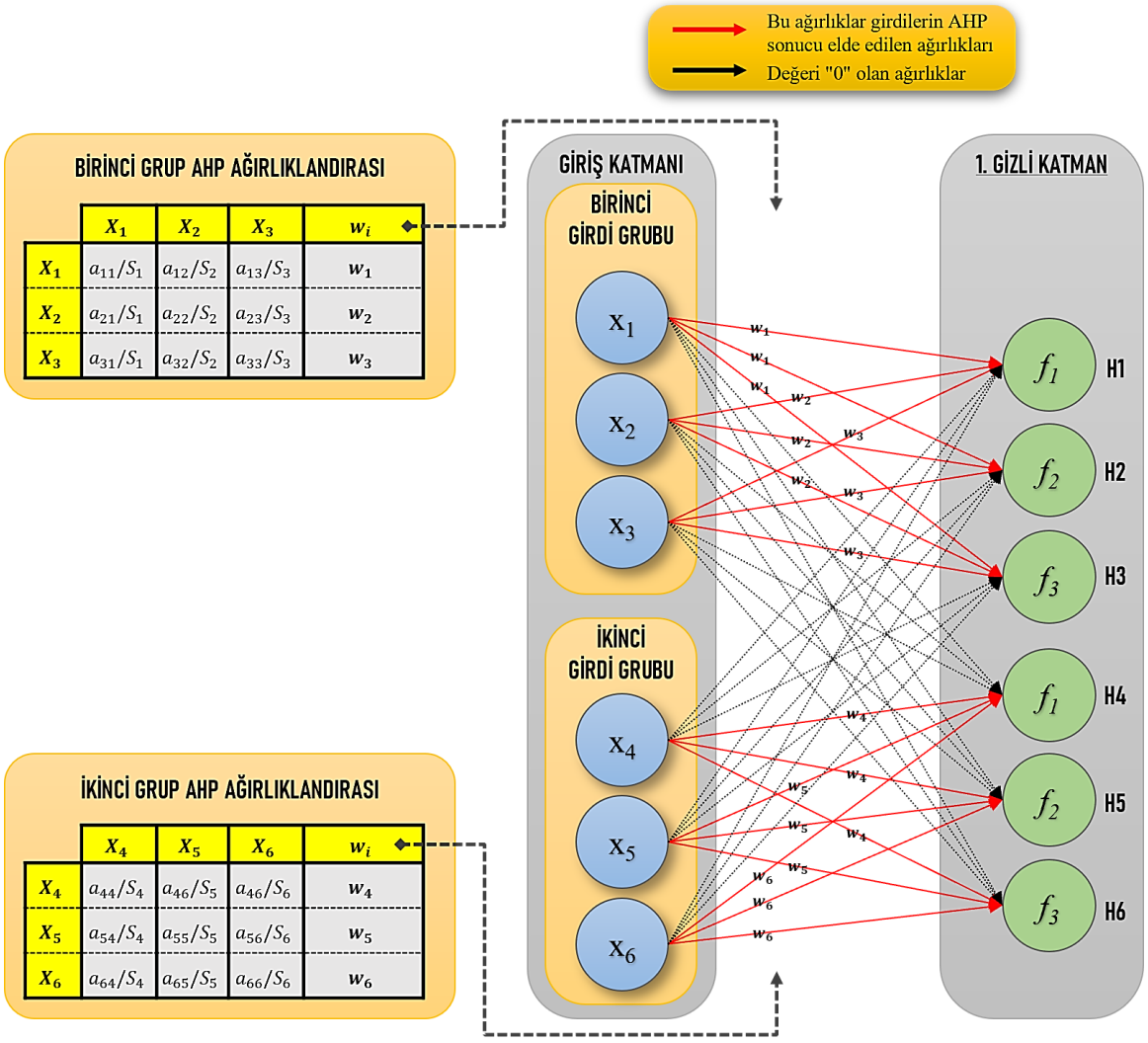
Şekil 3.11. Ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağlarında ölçeklendirme

Aktivasyon fonksiyonu seçimi ise deneme yanılma yoluyla veya tecrübe ile yapılır. Aktivasyon fonksiyonları genel olarak doğrusal olmayan davranışı fonksiyon eğrisi üzerindeki eğimler üzerinden yorumlamaya çalışır. Bu yüzden doğrusal olmayan davranışı tanımlamak için birçok aktivasyon fonksiyonu vardır. Bunun yanında doğrusal davranışın ölçülmesi için klasik doğrusal x fonksiyonu veya ReLU fonksiyonu yeterli olmaktadır. Ön bilgilendirme olmayan yapay sinir ağlarında genellikle aynı katman içerisinde farklı aktivasyon fonksiyonları kullanılmaz. Bunun sebebi fonksiyonların tanım ve değer kümelerinin farklı olmasıdır. X değişkenine sahip bir fonksiyon tanım kümesindeki bütün negatif değerler değer kümesinde "0" olabilirken (ReLU) bir başka fonksiyonun değer

kümesinde negatif bir değer olabilir. Bu iki fonksiyon aynı katmana farklı hücrelere yerleştirilirse, öğrenmede veri kaybı oluşacak ve eksik öğrenme gerçekleşmiş olacaktır.

Fakat, tanım ve değer kümeleri aynı olan iki farklı fonksiyon kullanılmasında teorik olarak hiçbir engel yoktur. Giriş veri ölçeklendirmesi, fonksiyonların tanım kümeleri aynı oldukları için bir engel teşkil etmez. Ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağlarında birden farzla tip aktivasyon fonksiyonu kullanılacak ise, her grup için bütün tip hücreler en az bir kere tanımlanmalıdır. Aşağıda Şekil 3.12'de iki grup girdi parametresinin birinci gizli katmanda bulunan üç farklı aktivasyon fonksiyonuna (f_1, f_2, $f_{3)}$ sahip toplam 6 hücreye bağlanma şekli verilmiştir.

Ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağının öğrenme aşaması 1. gizli katman ile çıkış katmanı arasında olmaktadır. Gizli katman sayısı giriş veri gruplarının çok olduğu durumlarda artırılabilir. Bu çalışma kapsamında 3 giriş veri grubu için bir tane gizli katman yeterli olmuştur. Birinci gizli katmandan çıkış katmanına kadar olan bütün prosedür ön bilgilendirme olmayan yapay sinir ağlarıyla aynıdır.



Şekil 3.12. İki girdi grubunun üç farklı tip hücreye bağlantıları ve AHP ağırlıklarının tanımlanması

4. UYGULAMA

4.1. Hazırlık Aşaması

4.1.1. Kaza türlerinin tanımlanması

Bu çalışmada kullanılan iş kazası türleri, SGK tarafından yayınlanan istatistiki veriler ve uluslararası çalışmalardaki veriler esas alınarak belirlenmiştir. SGK yıllık istatistiklere göre Türkiye'de 2015 ile 2018 yılları arasında en fazla ölümlü kazaya sebep olan iş kaza türleri ve birçok uluslararası çalışmaya göre en çok ölümle sonuçlanan 4 tür iş kazası, çalışma örneklemi olarak seçilmiştir. Bu çalışmalara göre, ölüm ile sonuçlanan ve en sık görülen iş kazası yüksekten düşmedir. Neredeyse her iki ölümlü iş kazasından birisi yüksekten düşme ile gerçekleşmiştir. Türkiye'de 2015 ile 2018 yılları arasında toplam 1114 çalışan düşme eylemi sonucu hayatını kaybetmiştir ve ölümlü iş kazalarında listenin başını çekmektedir (Sosyal Guvenlik Kurumu, 2018).

İkinci olarak en fazla ölümün gerçekleştiği kaza türü fırlatılan/düşen cisim çarpması, üçüncü olarak yapısal göçme ve son olarak elektrik çarpmasıdır. Bu dört iş kazası, yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalara göre, bütün ölümlü iş kazalarının %85 'in den fazlasını temsil etmektedir (Chen vd., 2020; Gurcanli ve Mungen, 2013; Hamid vd., 2019; Meng vd., 2018; Shafique ve Rafiq, 2019; Sosyal Guvenlik Kurumu, 2018; Winge ve Albrechtsen, 2018; Winge vd., 2019).

Seçilen iş kazaları ve inşaat projelerinde en sık gerçekleştiği imalat grupları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışmaya konu olan iş kazaları ve seçilen ilgili imalat grupları

İş Kazası Türü	Seçilen İlgili İmalat Grubu
Yüksekten Düşme	Cephe İmalatları
Fırlatılan/Düşen Cisim Çarpması	İskele Kurulum/Söküm İmalatları
Yapısal Göçme	Kalıp İmalatları
Elektrik Çarpması	Donatı İmalat ve Montaj İmalatları

4.1.2. Kaza önlem gruplarının tanımlanması

Bu çalışmada etkiyi temsil eden giriş parametreleri olarak şantiyelerde alınması gereken önlemler, tepki olarak kazalarının ne şiddette sonuçlandığı değerlendirilmiştir. Şantiyelerde alınması gereken önlemler Yilmaz ve Kanıt (2018) tarafından yönetmeliklere uygun olarak 3 ana grupta derlenmiştir. Bu gruplar ve alt öğeleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir (Yilmaz ve Kanıt, 2018).

Çizelge 4.2. İş kazalarında risk azaltıcı önlemler

Toplu Koruma Yöntemleri (TKY)	Kişisel Koruyucu Donanımlar (KKD)	Kontrol, Eğitim, Muayene (KEM)
(TKY-1) Şantiye alanı perde sistemi	(KKD-1) Baret	(KEM-1) İSG uzmanı
(TKY-2) Renkli kazı filesi	(KKD-2) Koruyucu gözlük	(KEM-2) İş yeri hekimi
(TKY-3) Güvenlik halatı/yaşam hattı sis.	(KKD-3) Toz maskesi	(KEM-3) Muayeneler
(TKY-4) Korkuluk sistemleri	(KKD-4) Yüz siperi	(KEM-4) İSG eğitimleri
(TKY-5) Cephe örtüleri	(KKD-5) İş elbisesi	
(TKY-6) Güvenlik alan perdesi	(KKD-6) Reflektör	
(TKY-7) İlk yardım çantası, yangın tüpü	(KKD-7) Paraşüt tipi emniyet kemeri	
(TKY-8) Dış cephe güvenlik ağı	(KKD-8) İş ayakkabısı	
(TKY-9) Seyyar elektrik dağıtım panosu	(KKD-9) Koruyucu eldiven	
(TKY-10) Uyarıcı ve bilgilendirici levhalar		

İş kazalarında kaza şiddeti dört sınıf olarak kabul edilmiştir ve Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. İş kazalarında kaza şiddet sınıfları

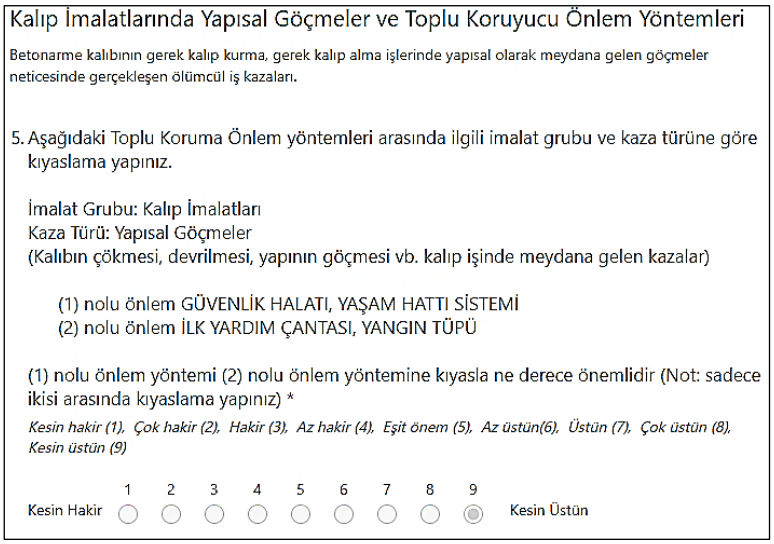
Kaza Şiddet Sınıfı	Açıklama
Sıyrık	Ayakta tedavi ile atlatılan ufak çaplı kazalar, 1 günü geçmeyen iş günü kaybı
Hafif Yaralanma	Oluşturduğu hasar ile geçici iş göremez hale getiren kazalar, tedavi sonrası işe geri döner
Ağır Yaralanma	Yatarak tedavi gerektiren ve alınan hasar ile kalıcı iş göremez hale gelen kazalar
Ölüm	Çalışanın hayatına son veren kazalar

4.2. Ön Bilgilendirme Aşaması

Bu çalışmada metodoloji uygulamaları kalıp imalatı bazında tez metni içerisinde örneklenmiş ve diğer imalat gruplarına dair uygulama sonuçları EK-2'de verilmiştir. Bu aşama, giriş parametreleri olan risk azaltıcı önlemlerin ilgili örneklem kapsamında kendi grupları içerisinde değerlendirilip ağırlık kazandırılmasını kapsamaktadır. Bu işlem için AHP metoduna ait kıyaslama matrisleri ve hesaplama yöntemleri kullanılmıştır. İkili kıyaslama soruları anket soruları haline getirilmiş, sektörde uzman bir anket firması

aracılığıyla veriler toplanmıştır. Her bölümün tutarlılığı kendi içinde hesaplandığı için her bölüm ayrı bir anket gibi düşünülmüştür. Dolayısıyla Cephe İmalatlarında Yüksekten Düşme anketi için toplamda yaptırılan 87 anketten CR değeri 0.1 değerinin üstünde, yani AHP yöntemi kapsamında tutarsız sayılan 68 anket elenmiş, 19 anket değerlendirmeye alınmıştır. Benzer şekilde İskele Kurulum/Söküm İmalatlarında Fırlatılan/Düşen Cisim Çarpması için yaptırılan 75 anketten 51 anket elenmiş olup 24 anket değerlendirilmeye girmiştir. Kalıp İmalatlarında Yapısal Göçme için 75 anketten 47 anket elenmiş olup 28 anket değerlendirmeye girmiştir. Donatı İmalat ve Montaj İmalatlarında Elektrik ile Temas için 72 anketten 49 anket elenmiş olup 23 anket değerlendirmeye girmiştir.

Kalıp imalatlarında yapısal göçme kazası hesap adımları sırası ile aşağıda verilmiştir. Bu kaza için toplanan anketlerden 22 numaralı katılımcı, C sınıfı İSG uzmanı TKY yöntemlerinden, güvenlik halatı ve yaşam hattı sisteminin (TKY-3) ilk yardım çantası ve yangın tüpüne (TKY-7) göre kesin bir üstünlüğü olduğu belirten anket kaydı Şekil 4.1'de verilmiştir. İşaretlemelerin kolay yapılabilmesi için kıyaslama ölçekleri 1-9 arasında numaralar ile ifade edilmiştir.


Kalıp İmalatlarında Yapısal Göçmeler ve Toplu Koruyucu Önlem Yöntemleri

Betonarme kalıbının gerek kalıp kurma, gerek kalıp alma işlerinde yapısal olarak meydana gelen göçmeler neticesinde gerçekleşen ölümcül iş kazaları.

5. Aşağıdaki Toplu Koruma Önlem yöntemleri arasında ilgili imalat grubu ve kaza türüne göre kıyaslama yapınız.

İmalat Grubu: Kalıp İmalatları
Kaza Türü: Yapısal Göçmeler
(Kalıbın çökmesi, devrilmesi, yapının göçmesi vb. kalıp işinde meydana gelen kazalar)

(1) nolu önlem GÜVENLİK HALATI, YAŞAM HATTI SİSTEMİ
(2) nolu önlem İLK YARDIM ÇANTASI, YANGIN TÜPÜ

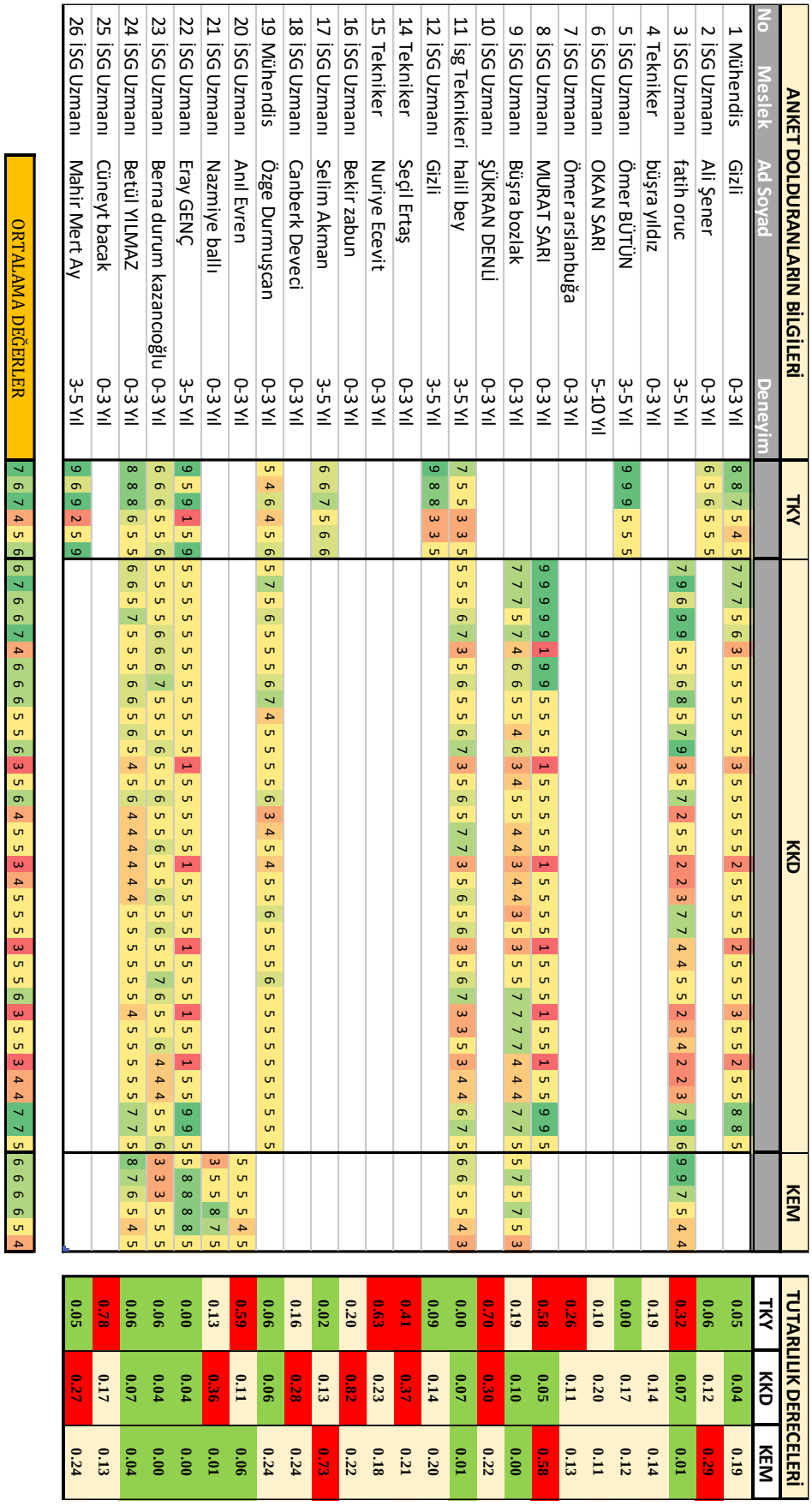
(1) nolu önlem yöntemi (2) nolu önlem yöntemine kıyasla ne derece önemlidir (Not: sadece ikisi arasında kıyaslama yapınız) *

Kesin hakir (1), Çok hakir (2), Hakir (3), Az hakir (4), Eşit önem (5), Az üstün(6), Üstün (7), Çok üstün (8), Kesin üstün (9)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Kesin Hakir	○	○	○	○	○	○	○	○	◉	Kesin Üstün

Şekil 4.1. 22 numaralı katılımcının TKY-3 ile TKY-7 kıyaslamasına ait kaydı

Benzer şekilde kalıp imalatlarında yapısal göçme kazası için anket dolduran 26 katılımcıya ait sonuçlardan CR oranı tutarlı olanların kayıtları soru bazında Şekil 4.2'de verilmiştir. Diğer kazalara ait anket sonuçları EK-1'de verilmiştir. Elde edilen tutarlı sonuçlar her bir soru için ortalama alınarak şekildeki çizelgenin altında, ortalama değerler satırında tek bir değere indirgenmiştir.

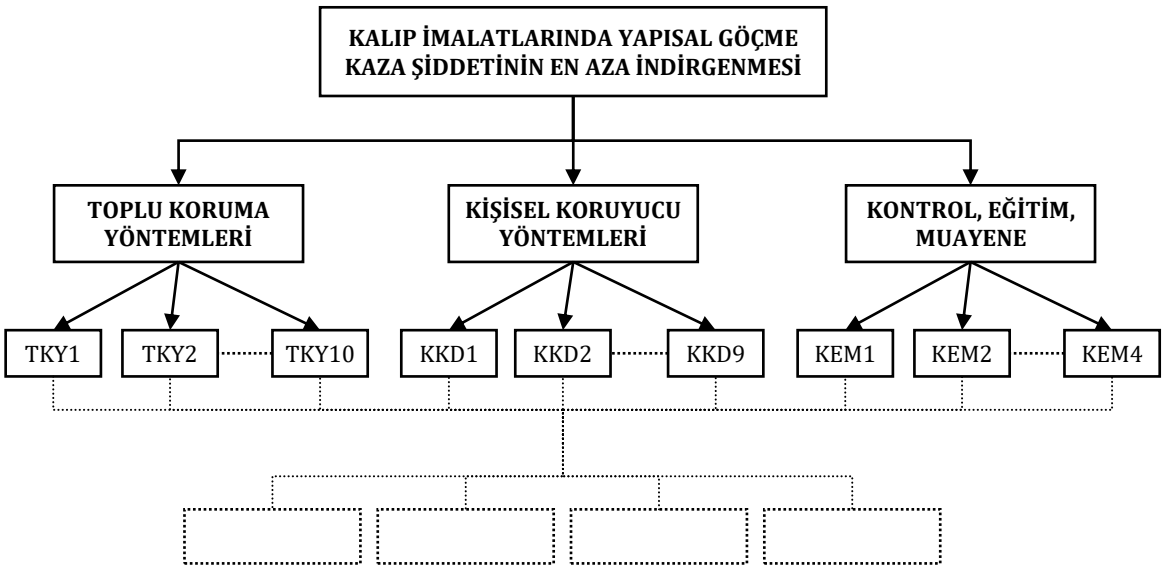


ANKET DOLDURANLARIN BİLGİLERİ			TKY	KKD	KEM
No	Meslek	Ad Soyad	Deneyim		
1	Mühendis	Gizli	0-3 Yıl	8 8 7 5 4 5	7 7 7 5 6 3 5 5 5 5 5 5 3 5 5 5 5 5 2 5 5 5 5 2 5 5 5 3 5 5 2 5 5 8 8 5
2	İSG Uzmanı	Ali Şener	0-3 Yıl	6 5 6 5 5 5	
3	İSG Uzmanı	fatih oruc	3-5 Yıl		7 9 6 9 9 5 5 6 8 5 7 9 3 5 7 2 5 5 2 2 3 7 7 4 4 5 5 2 3 4 2 2 3 7 9 6 9 9 7 5 4 4
4	Tekniker	büşra yıldız	0-3 Yıl		
5	İSG Uzmanı	Ömer BÜTÜN	3-5 Yıl	9 9 9 5 5 5	
6	İSG Uzmanı	OKAN SARI	5-10 Yıl		
7	İSG Uzmanı	Ömer arslanbuğa	0-3 Yıl		
8	İSG Uzmanı	MURAT SARI	0-3 Yıl		9 9 9 9 9 1 9 9 5 5 5 5 1 5 5 5 5 5 1 5 5 5 5 1 5 5 5 1 5 5 9 9 5
9	İSG Uzmanı	Büşra bozlak	0-3 Yıl		7 7 7 5 7 4 6 6 5 5 4 6 3 4 5 5 4 4 3 4 4 3 5 3 5 7 7 7 4 4 4 7 7 5 5 7 5 7 5 5 3
10	İSG Uzmanı	ŞÜKRAN DENLİ	0-3 Yıl		
11	İsg Teknikeri	halil bey	3-5 Yıl	7 5 5 3 3 5	5 5 5 6 7 3 5 6 5 5 6 7 3 5 6 5 7 7 3 5 6 5 6 3 5 6 7 3 3 5 3 4 4 6 7 5 6 6 5 5 4 3
12	İSG Uzmanı	Gizli	3-5 Yıl	9 8 8 3 3 5	
14	Tekniker	Seçil Ertaş	0-3 Yıl		
15	Tekniker	Nuriye Ecevit	0-3 Yıl		
16	İSG Uzmanı	Bekir zabun	0-3 Yıl		
17	İSG Uzmanı	Selim Akman	3-5 Yıl	6 6 7 5 6 6	
18	İSG Uzmanı	Canberk Deveci	0-3 Yıl		
19	Mühendis	Özge Durmuşcan	0-3 Yıl	5 4 6 4 5 6	5 7 5 6 5 5 5 6 7 4 5 5 5 6 3 4 5 4 5 5 6 5 5 5 6 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5
20	İSG Uzmanı	Anıl Evren	0-3 Yıl		
21	İSG Uzmanı	Nazmiye ballı	0-3 Yıl		5 5 5 5 5 3 5 5 8 7 5
22	İSG Uzmanı	Eray GENÇ	3-5 Yıl	9 5 9 1 5 9	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 1 5 5 5 5 5 1 5 5 5 5 1 5 5 5 1 5 5 9 9 5 5 8 8 8 8 5
23	İSG Uzmanı	Berna durum kazancıoğlu	0-3 Yıl	6 6 6 5 5 6	5 5 5 5 6 6 6 7 5 5 5 6 5 5 6 6 5 5 5 5 5 5 5 5 1 5 5 5 5 5 1 5 5 5 5 1 5 5 5 1 5 5 9 9 5 5 3 3 3 5 5
24	İSG Uzmanı	Betül YILMAZ	0-3 Yıl	8 8 8 6 5 5	6 6 5 7 5 5 5 6 6 5 6 5 6 5 4 5 6 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 4 5 5 5 5 5 7 7 5 8 7 6 5 4 5
25	İSG Uzmanı	Cüneyt bacak	0-3 Yıl		
26	İSG Uzmanı	Mahir Mert Ay	3-5 Yıl	9 6 9 2 5 9	
ORTALAMA DEĞERLER			7 6 7 4 5 6	6 7 6 6 7 4 6 6 6 5 5 6 3 5 6 4 5 5 3 4 5 5 5 3 5 5 6 3 5 5 3 4 4 7 7 5	6 6 6 6 5 4

TUTARLILIK DERECELERİ		
TKY	KKD	KEM
0.05	0.04	0.19
0.06	0.12	0.29
0.32	0.07	0.01
0.19	0.14	0.14
0.00	0.17	0.12
0.10	0.20	0.11
0.26	0.11	0.13
0.58	0.05	0.58
0.19	0.10	0.00
0.70	0.30	0.22
0.00	0.07	0.01
0.09	0.14	0.20
0.41	0.37	0.21
0.63	0.23	0.18
0.20	0.82	0.22
0.02	0.13	0.73
0.16	0.28	0.24
0.06	0.06	0.24
0.59	0.11	0.06
0.13	0.36	0.01
0.00	0.04	0.00
0.06	0.04	0.00
0.06	0.07	0.04
0.78	0.17	0.13
0.05	0.27	0.24

Şekil 4.2. Kalıp imalatlarında yapısal göçme kazası için anket kayıtları

Elde edilen anket verileri ile önlem yöntemlerine ait ağırlıklar AHP metodu ile elde edilmiştir. Bunun için öncelikle AHP hiyerarşisi oluşturulur (Bkz. Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Yapısal göçme kazası için önlem yöntem grupları arası kurulan AHP hiyerarşisi

Oluşturulan hiyerarşide kesik çizgiler ile gösterilen alternatifler, herhangi bir alternatif seçimi aranmadığından oluşturulmamıştır. AHP metodunun kullanılma amacı önlem yöntem gruplarının lokal ağırlıklarının elde edilmesidir.

Kalıp imalatlarında yapısal göçme kazası için TKY önlem grubuna ait elde edilen anket verilerinin ortalama değerleri Çizelge 4.4'de karşılaştırma matrisine alınmış ve sözel ifadelerin ilgili sayısal karşılıkları Çizelge 4.5'de yazılmıştır.

Çizelge 4.4. Yapısal göçme kazası için TKY önlem grubu nitel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	TKY-3	TKY-7	TKY-6	TKY-10
TKY-3	GÜVENLİK HALATI, YAŞAM HATTI SİSTEMİ	*EŞİT ÖNEM*	ÜSTÜN	AZ ÜSTÜN	ÜSTÜN
TKY-7	İLK YARDIM ÇANTASI, YANGIN TÜPÜ		*EŞİT ÖNEM*	AZ HAKİR	EŞİT ÖNEM
TKY-6	GÜVENLİK ALAN PERDESİ			*EŞİT ÖNEM*	AZ ÜSTÜN
TKY-10	UYARICI VE BİLGİLENDİRİCİ LEVHALAR				*EŞİT ÖNEM*

Çizelge 4.5. Yapısal göçme kazası için TKY önlem grubu nicel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	TKY-3	TKY-7	TKY-6	TKY-10
TKY-3	GÜVENLİK HALATI, YAŞAM HATTI SİSTEMİ	1,00	5,00	3,00	5,00
TKY-7	İLK YARDIM ÇANTASI, YANGIN TÜPÜ	0,20	1,00	0,33	1,00
TKY-6	GÜVENLİK ALAN PERDESİ	0,33	3,00	1,00	3,00
TKY-10	UYARICI VE BİLGİLENDİRİCİ LEVHALAR	0,20	1,00	0,33	1,00
∑	TOPLAMLAR	1,73	10,00	4,67	10,00

Nicel karşılaştırma matrisini normalize etmek için her değer kendi sütun toplamına bölünür (Bkz. Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Yapısal göçme kazası için TKY önlem grubu matris normalizasyonu

NO	DONANIM ADI	TKY-3	TKY-7	TKY-6	TKY-10
TKY-3	GÜVENLİK HALATI, YAŞAM HATTI SİSTEMİ	0,58	0,50	0,64	0,50
TKY-7	İLK YARDIM ÇANTASI, YANGIN TÜPÜ	0,12	0,10	0,07	0,10
TKY-6	GÜVENLİK ALAN PERDESİ	0,19	0,30	0,21	0,30
TKY-10	UYARICI VE BİLGİLENDİRİCİ LEVHALAR	0,12	0,10	0,07	0,10

Normalize matris değerleri için sağa doğru satır toplamları alınarak kriter sayısına bölünür ve lokal ağırlıklar elde edilir (Bkz. Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Yapısal göçme kazası için TKY önlem grubu ağırlıklarının elde edilmesi

NO	DONANIM ADI	TKY-3	TKY-7	TKY-6	TKY-10	w
TKY-3	GÜVENLİK HALATI, YAŞAM HATTI SİSTEMİ	0,58	0,50	0,64	0,50	0,55
TKY-7	İLK YARDIM ÇANTASI, YANGIN TÜPÜ	0,12	0,10	0,07	0,10	0,10
TKY-6	GÜVENLİK ALAN PERDESİ	0,19	0,30	0,21	0,30	0,25
TKY-10	UYARICI VE BİLGİLENDİRİCİ LEVHALAR	0,12	0,10	0,07	0,10	0,10

Kalıp imalatlarında yapısal göçme kazası için benzer işlemler KKD ve KEM önlem grupları için de yapılmış, ilgili ağırlıklar hesaplanmış olup EK-2'de verilmiştir.

Bu sayede nitel kıyaslamalar sayısal değerler ile ifade edilebilmiştir. Koruyucu ekipman veya eylemlerden her biri, kazanın türüne göre değişken performans sergileyeceği bilinebilir bir bilgi olduğundan bu veriler AHP ile kendi içlerinde kıyaslanarak ağırlıklandırılmıştır.

AHP ağırlıklandırma tabloları ve nihai sonuçlar her risk grubu için hesaplanmıştır. Ön bilgilendirmede kullanılacak ağırlıklar Çizelge 4.8, Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ile verilmiştir.

Çizelge 4.8. AHP ile elde edilen toplu koruma yöntemlerinin ağırlıkları

KOD	YAPISAL GÖÇME	DÜŞME	CİSİM ÇARPMASI	ELEKTRİK İLE TEMAS
TKY-1	0,000	0,000	0,000	0,000
TKY-2	0,000	0,000	0,000	0,000
TKY-3	0,555	0,398	0,109	0,000
TKY-4	0,000	0,185	0,109	0,000
TKY-5	0,000	0,102	0,000	0,000
TKY-6	0,252	0,099	0,109	0,107
TKY-7	0,097	0,039	0,406	0,120
TKY-8	0,000	0,126	0,000	0,000
TKY-9	0,000	0,000	0,000	0,411
TKY-10	0,097	0,052	0,269	0,361

Çizelge 4.9. AHP ile elde edilen kişisel koruyucu yöntemlerinin ağırlıkları

KOD	YAPISAL GÖÇME	DÜŞME	CİSİM ÇARPMASI	ELEKTRİK İLE TEMAS
KKD-1	0,195	0,243	0,225	0,076
KKD-2	0,095	0,050	0,080	0,098
KKD-3	0,044	0,044	0,035	0,039
KKD-4	0,072	0,050	0,091	0,100
KKD-5	0,071	0,093	0,106	0,179
KKD-6	0,039	0,044	0,050	0,058
KKD-7	0,337	0,388	0,252	0,086
KKD-8	0,081	0,045	0,087	0,142
KKD-9	0,066	0,045	0,074	0,222

Çizelge 4.10. AHP ile elde edilen kontrol, eğitim, muayene yöntemlerinin ağırlıkları

KOD	YAPISAL GÖÇME	DÜŞME	CİSİM ÇARPMASI	ELEKTRİK İLE TEMAS
KEM-1	0,481	0,167	0,399	0,426
KEM-2	0,210	0,167	0,161	0,134
KEM-3	0,098	0,167	0,083	0,067
KEM-4	0,210	0,500	0,357	0,372

4.3. PIALM ile Yapay Öğrenme Aşaması

4.3.1. Ağ yapısının oluşturulması

Ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağı metodu ile oluşturulan ağ; 1 giriş katmanı, 1 gizli katman ve 1 çıkış katmanından oluşmaktadır. Öğrenme seviyesi yeterli olduğu için gizli katman sayısının artırılması denenmemiştir.

Giriş katmanı, TKY, KKD, KEM önlem yöntemleri grupları olmak üzere 3 girdi grubundan oluşturulmuştur. TKY için 10 adet, KKD için 9 adet, KEM için 4 adet giriş parametresi ağın giriş katmanını oluşturmuştur. Ön bilgilendirme aşamasında elde edilen ağırlıklar giriş katmanı ile birinci gizli katman arasına tanımlanmıştır. Bu durumda birinci gizli katmandaki oluşturulacak hücrelere giden grup toplam ağırlıklı değerlerin (S_{GRUP}), ifadesi Eş. 4.1 ile yapılmaktadır. Bu denklemdeki x_i, w_i ve n sırasıyla ilgili girdi grubu altındaki i. giriş parametresi, bu parametrenin birinci gizli katmana giden ağırlığı, total giriş parametre sayısıdır.

$$S_{GRUP} = \sum_{i=1}^{n} w_i * x_i \tag{4.1}$$

1. gizli katman yapısında her bir grup için parabolik aktivasyon fonksiyonlu iki hücre seçilmiştir. Bu yaklaşım Zharkova ve Schetinin (2003) tarafından solar resimlerin tanımlanmasında kullanılmıştır. Buna göre birinci aktivasyon fonksiyonu (Eş. 4.2) doğrusal olmayan davranışı ölçmekte olup, ikinci tip aktivasyon fonksiyonu (Eş. 4.3) ise doğrusal ilişkiyi ölçmektedir.

$$f(x) = x^2 \tag{4.2}$$

$$f(x) = x \tag{4.3}$$

Buna uygun olarak S_{GRUP} değerleri Eş. 4.4 ile ölçeklendirilmiştir.

$$W_{GRUP} = (1 - S_{GRUP}) * 10 \tag{4.4}$$

Bu durumda Risk Skoru (RS) denklemi birinci gizli katman hücrelerinin çıktıları ile ağırlıkları çarpımlarının toplamı olmaktadır ve 3 grubun bağlı olduğu hücrelerin çıktılarından oluşmaktadır. RS; risk skoru, RS_{GRUP}: risk skorunu oluşturan grup ağırlığı, W_{TKY}; Ölçeklenmiş grup toplam ağırlıkları, $w_{(2)i}$; birinci gizli kaman ile çıkış katmanı arasındaki, birinci katmanda bulunan i. hücrenin çıkış katmanı ile olan bağlantısının ağırlığı, θ; bias değeri olmak üzere RS değişkeni aşağıdaki denklemler ile ifade edilmektedir.

Buna göre üretilen RS değişkeni Eş. 4.5; Eş. 4.6, Eş. 4.7, Eş. 4.8 toplamı ile elde edilir.

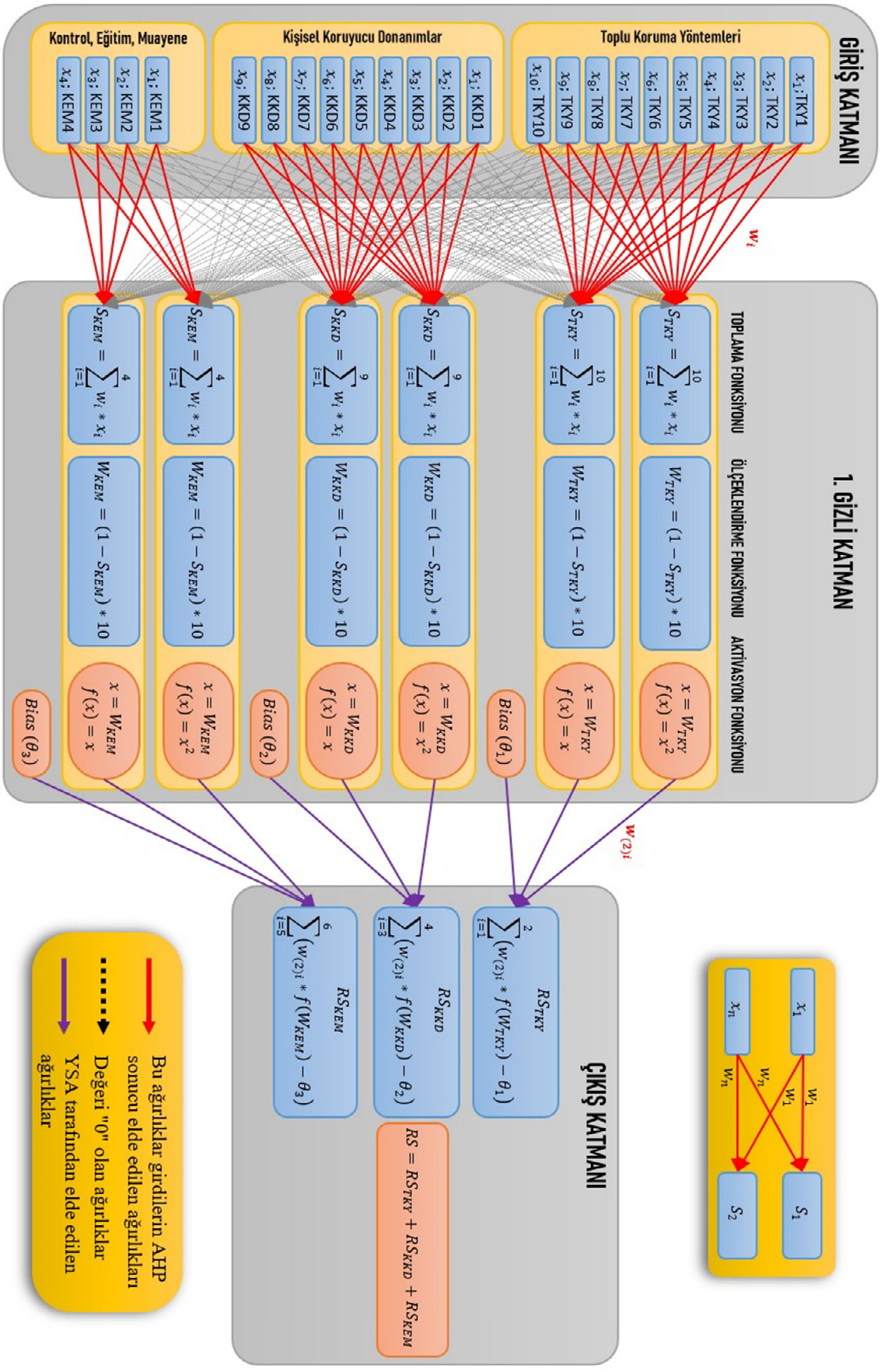
$$RS = RS_{TKY} + RS_{KKD} + RS_{KEM} \tag{4.5}$$

$$RS_{TKY} = (W_{TKY})^2 * w_{(2)1} + (W_{TKY}) * w_{(2)2} - \theta_1 \tag{4.6}$$

$$RS_{KKD} = (W_{KKD})^2 * w_{(2)3} + (W_{KKD}) * w_{(2)4} - \theta_2 \tag{4.7}$$

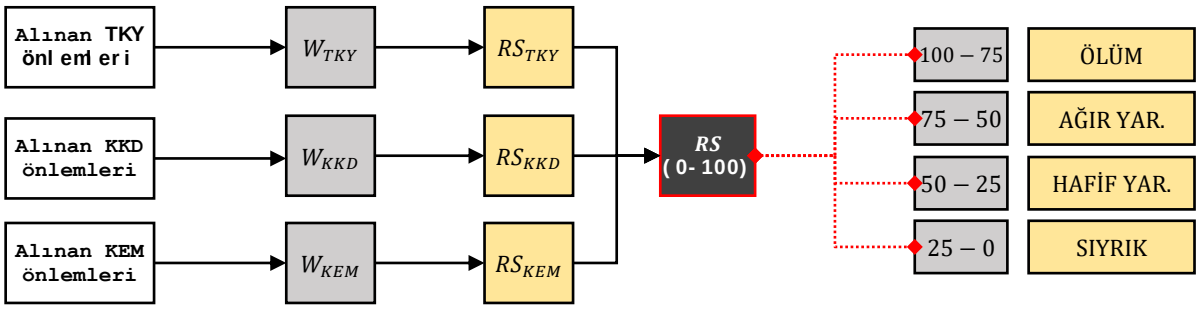
$$RS_{KEM} = (W_{KEM})^2 * w_{(2)5} + (W_{KEM}) * w_{(2)6} - \theta_3 \tag{4.8}$$

Kurulan parabolik aktivasyon fonksiyonlu ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağı ağ yapısı Şekil 4.4'de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağı parabolik aktivasyon fonksiyonlu ağ yapısı

Her kaza için çözülecek optimizasyon problemi Şekil 4.5'da şematik gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Her kaza için çözülecek optimizasyon problemi şematik gösterimi

4.3.2. Ağın eğitilmesi

Sektörde uzun yıllar faaliyet göstermiş bir inşaat şirketi kapsamında bu çalışma uygulanmış ve tahmin denklemleri elde edilmiştir. Şirketin geçmiş kaza verilerinden faydalanılarak yürütülen bu uygulama çalışmasında, gizlilik politikaları gereği şirket unvanının açıklanmamasını şart koşulmuştur.

Ağırlık setlerinin birinci aşamada elde edilmesinden sonra ikinci aşama olarak belirlenen kazaların her biri için geçmiş kaza tutanakları incelenmiştir. Her geçmiş kaza verisi için iki bilgi gereklidir: birincisi kaza anında hangi risk azaltıcı önlemlerin olduğu, ikincisi kazanın nasıl sonuçlandığıdır. Geriye dönük kaza tutanakları toplanarak tek tek veri haline getirilmiştir. Netice itibariyle 500'den fazla kaza tutanağı incelenmiş ve ilgili kazalar için veri haline getirilebilir 140 tutanak bu çalışma için toplanmıştır. Her bir kaza türü için 30 veri ağın eğitilmesinde, 5 veri test edilmesinde kullanılmıştır.

Her bir kaza tutanağı için kaza anında alınmış önlemler 3 grupta incelenmiştir; TKY, KKD, KEM. Bu gruplardaki koruma yöntemleri kendi içlerinde birinci bölümde ağırlıklandırılmıştır.

Örneğin, kalıp imalatlarında yapısal göçme riski için; ağır yaralanma ile sonuçlanmış 14 numaralı kaza tutanağı incelendiğinde, toplu koruma yöntemlerinden güvenlik halatı ve yaşam hattı sisteminin olmadığı (TKY-3), ilk yardım çantasının olay yerinde olduğu (TKY-7), güvenlik alan perdesinin var olduğu (TKY-6), uyarıcı ve bilgilendirici levhaların ilgili yerlerde belirtildiği (TKY-10) görülmüştür. Ayrıca, kişisel koruyucu donanımlardan, baret

(KKD-1), toz maskesi (KKD-3), yüz siperi (KKD-4), reflektörü (KKD-6) ve iş ayakkabısının (KKD-8) üzerinde olduğu, fakat, paraşüt tipi emniyet kemerinin (KKD-7), iş elbisesinin (KKD-5) giyilmediği, koruyucu gözlük ve eldivenin (KKD-2, KKD-9) giyilmediği görülmüştür. Kazanın gerçekleştiği sırada yakınlarda İSG uzmanının bulunmadığı (KEM-1), kaza geçiren çalışanın muayenesinin zamanında yapıldığı (KEM-3), kaza sırasında sahada işyeri hekiminin olduğu (KEM-2) ve kaza geçiren çalışanın İSG eğitimlerinin verildiği görülmüştür. Tüm bu durumların verilere dönüştürüldüğü çizelge aşağıda verilmiştir (Bkz. Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Kalıp imalatlarında yapısal göçme riski için; ağır yaralanma ile sonuçlanmış 14 numaralı kaza tutanağının veri haline getirilmesi

w	TKY	TOPLU KORUMA YÖNTEMLERİ	UYGULANAN ÖNLEMLER
0,5549	TKY-3	GÜVENLİK HALATI, YAŞAM HATTI SİSTEMİ	
0,0967	TKY-7	İLK YARDIM ÇANTASI, YANGIN TÜPÜ	x
0,2516	TKY-6	GÜVENLİK ALAN PERDESİ	x
0,0967	TKY-10	UYARICI VE BİLGİLENDİRİCİ LEVHALAR	x
w	KKD	KİŞİSEL KORUYUCU DONANIMLAR	
0,1952	KKD-1	BARET	x
0,0947	KKD-2	KORUYUCU GÖZLÜK	
0,0438	KKD-3	TOZ MASKESİ	x
0,0722	KKD-4	YÜZ SİPERİ	x
0,0714	KKD-5	İŞ ELBİSESİ	
0,0392	KKD-6	REFLEKTÖR	x
0,3369	KKD-7	PARAŞÜT T. EMNİYET KEMERİ	
0,0810	KKD-8	İŞ AYAKKABISI	x
0,0657	KKD-9	KORUYUCU ELDİVEN	
w	KEM	KONTROL, EĞİTİM, MUAYENE	
0,4813	KEM-1	İSG UZMANI	
0,2104	KEM-2	İŞ YERİ HEKİMİ	x
0,0979	KEM-3	MUAYENELER	x
0,2104	KEM-4	İSG EĞİTİMLERİ	x

Giriş parametrelerinin neticeler ile ilişkilendirildiği bir yapay sinir ağında, ağın eğitimine katılan her veri setine eğitim adımı (epoch) denir. Kalıp imalatlarında yapısal göçme riski için; ağır yaralanma ile sonuçlanmış 14 numaralı kaza tutanağına ait eğitim adımında, parabolik aktivasyon fonksiyonlu ağ yapısında $S_{TKY}^{(14)}$, $W_{TKY}^{(14)}$ ve $RS_{TKY}^{(14)}$ değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanır (Eş. 4.9, 4.10, 4.11).

$$S_{TKY}^{(14)} = 0{,}4451 \tag{4.9}$$

$$W_{TKY}^{(14)} = \left(1 - S_{TKY}^{(14)}\right) * 10 = 0{,}5549 * 10 = 5{,}549 \tag{4.10}$$

$$RS_{TKY}^{(14)} = (5{,}549)^2 * w_{(2)1} + 5{,}549 * w_{(2)2} - \theta_1 \tag{4.11}$$

Benzer şekilde 14 nolu epoch için $RS_{KKD}^{(14)}$ ve $RS_{KEM}^{(14)}$, Eş. 4.12 ve Eş. 4.13 ile hesaplanır.

$$RS_{KKD}^{(14)} = (5{,}686)^2 * w_{(2)3} + 5{,}686 * w_{(2)4} - \theta_2 \tag{4.12}$$

$$RS_{KEM}^{(14)} = (4{,}813)^2 * w_{(2)5} + 4{,}813 * w_{(2)6} - \theta_3 \tag{4.13}$$

$$\begin{aligned} RS^{(14)} = {} & (5{,}549)^2 * w_{(2)1} + 5{,}549 * w_{(2)2} - \theta_1 \\ & + (5{,}686)^2 * w_{(2)3} + 5{,}686 * w_{(2)4} - \theta_2 \\ & + (4{,}813)^2 * w_{(2)5} + 4{,}813 * w_{(2)6} - \theta_3 \end{aligned} \tag{4.14}$$

$$50 < RS^{(14)} < 75 \tag{4.15}$$

Yapay sinir ağı 30 adet eğitim veri seti için Eş. 4.14 ve Eş. 4.15 ile birlikte 30 denklemin ortak çözümünü $w_{(2)i}$ ve θ_i değerlerini rasgele değerler ile deneyerek optimizasyon algoritmasına göre ortak çözüm arayacaktır. Başlangıç ağırlık değerleri çeşitli denemeler sonucu 0,1 olarak elde edilmiştir.

Benzer şekilde 4 kaza türü için 140 kaza tutanağı sayısal verilere dönüştürülmüştür. Kalıp imalatlarında yapısal göçme riskine ait eğitim verileri Çizelge 4.12 de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Kalıp imalatlarında yapısal göçme riski eğitim verileri

KAZA NO	S DEĞERLERİ			NORMALIZE S DEĞERLERİ		
	TKY	KEM	KKD	W_{TKY}	W_{KEM}	W_{KKD}
KAZA:1	0,19	0,31	0,15	8,07	6,92	8,48
KAZA:2	0,25	0,31	0,31	7,48	6,92	6,90
KAZA:3	0,25	0,10	0,16	7,48	9,02	8,45
KAZA:4	0,19	0,31	0,35	8,07	6,92	6,52
KAZA:5	0,25	0,21	0,20	7,48	7,90	8,04
KAZA:6	0,19	0,31	0,40	8,07	6,92	5,98
KAZA:7	0,19	0,10	0,19	8,07	9,02	8,13
KAZA:8	0,19	0,31	0,27	8,07	6,92	7,28
KAZA:9	0,25	0,31	0,28	7,48	6,92	7,24
KAZA:10	0,19	0,31	0,36	8,07	6,92	6,41
KAZA:11	0,35	0,48	0,43	6,52	5,19	5,68
KAZA:12	0,35	0,52	0,39	6,52	4,81	6,08
KAZA:13	0,35	0,69	0,33	6,52	3,08	6,69
KAZA:14	0,45	0,52	0,43	5,55	4,81	5,69
KAZA:15	0,35	0,52	0,69	6,52	4,81	3,14
KAZA:16	0,45	0,58	0,42	5,55	4,21	5,78
KAZA:17	0,35	0,31	0,72	6,52	6,92	2,75
KAZA:18	0,35	0,52	0,65	6,52	4,81	3,53
KAZA:19	0,65	0,69	0,80	3,48	3,08	2,00
KAZA:20	0,45	0,79	0,57	5,55	2,10	4,32
KAZA:21	0,65	0,69	0,38	3,48	3,08	6,18
KAZA:22	0,55	0,79	0,84	4,45	2,10	1,60
KAZA:23	0,65	0,58	0,50	3,48	4,21	5,01
KAZA:24	0,45	0,69	0,82	5,55	3,08	1,81
KAZA:25	0,45	1,00	0,88	5,55	0,00	1,16
KAZA:26	1,00	0,58	1,00	0,00	4,21	0,00
KAZA:27	1,00	0,90	0,81	0,00	0,98	1,87
KAZA:28	0,90	0,90	0,93	0,97	0,98	0,72
KAZA:29	0,90	0,90	0,88	0,97	0,98	1,16
KAZA:30	1,00	1,00	0,86	0,00	0,00	1,37

5. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

5.1. Uygulamaya Ait Bulgular

Geliştirilen ön bilgilendirilmiş yapay öğrenme metodu ile 4 tür kaza için toplam 120 veri seti eğitim için, 20 veri seti modellerin doğruluğunun test edilmesinde kullanılmıştır. Seçilen kaza türü için parabolik aktivasyon fonksiyonlu konfigürasyona ait çözümler Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kalıp imalatlarında yapısal göçme eğitim verisi analiz sonuçları

Kaza No	S_{TKY}	S_{KEM}	S_{KKD}	W_{TKY}	W_{KEM}	W_{KKD}	RS_{TKY}	RS_{KEM}	RS_{KKD}	RS	Netice	Tahmin
KAZA:1	0,19	0,31	0,15	8,07	6,92	8,48	38,8	24,7	25,7	89,2	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:2	0,25	0,31	0,31	7,48	6,92	6,90	34,3	24,7	19,4	78,4	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:3	0,25	0,10	0,16	7,48	9,02	8,45	34,3	34,9	25,6	94,8	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:4	0,19	0,31	0,35	8,07	6,92	6,52	38,8	24,7	18,0	81,5	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:5	0,25	0,21	0,20	7,48	7,90	8,04	34,3	29,3	23,9	87,5	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:6	0,19	0,31	0,40	8,07	6,92	5,98	38,8	24,7	16,1	79,6	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:7	0,19	0,10	0,19	8,07	9,02	8,13	38,8	34,9	24,2	97,9	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:8	0,19	0,31	0,27	8,07	6,92	7,28	38,8	24,7	20,8	84,4	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:9	0,25	0,31	0,28	7,48	6,92	7,24	34,3	24,7	20,7	79,7	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:10	0,19	0,31	0,36	8,07	6,92	6,41	38,8	24,7	17,6	81,1	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:11	0,35	0,48	0,43	6,52	5,19	5,68	27,5	17,3	15,0	59,9	AĞIR Y,	AĞIR Y,
KAZA:12	0,35	0,52	0,39	6,52	4,81	6,08	27,5	15,9	16,4	59,7	AĞIR Y,	AĞIR Y,
KAZA:13	0,35	0,69	0,33	6,52	3,08	6,69	27,5	9,6	18,6	55,7	AĞIR Y,	AĞIR Y,
KAZA:14	0,45	0,52	0,43	5,55	4,81	5,69	21,4	15,9	15,0	52,3	AĞIR Y,	AĞIR Y,
KAZA:15	0,35	0,52	0,69	6,52	4,81	3,14	27,5	15,9	7,4	50,7	AĞIR Y,	AĞIR Y,
KAZA:16	0,45	0,58	0,42	5,55	4,21	5,78	21,4	13,6	15,4	50,3	AĞIR Y,	AĞIR Y,
KAZA:17	0,35	0,31	0,72	6,52	6,92	2,75	27,5	24,7	6,4	58,6	AĞIR Y,	AĞIR Y,
KAZA:18	0,35	0,52	0,65	6,52	4,81	3,53	27,5	15,9	8,4	51,8	AĞIR Y,	AĞIR Y,
KAZA:19	0,65	0,69	0,80	3,48	3,08	2,00	10,8	9,6	4,6	25,0	HAFİF Y,	HAFİF Y,
KAZA:20	0,45	0,79	0,57	5,55	2,10	4,32	21,4	6,5	10,7	38,5	HAFİF Y,	HAFİF Y,
KAZA:21	0,65	0,69	0,38	3,48	3,08	6,18	10,8	9,6	16,7	37,1	HAFİF Y,	HAFİF Y,
KAZA:22	0,55	0,79	0,84	4,45	2,10	1,60	15,3	6,5	3,7	25,5	HAFİF Y,	HAFİF Y,
KAZA:23	0,65	0,58	0,50	3,48	4,21	5,01	10,8	13,6	12,8	37,2	HAFİF Y,	HAFİF Y,
KAZA:24	0,45	0,69	0,82	5,55	3,08	1,81	21,4	9,6	4,2	35,1	HAFİF Y,	HAFİF Y,
KAZA:25	0,45	1,00	0,88	5,55	0,00	1,16	21,4	0,7	2,8	24,8	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:26	1,00	0,58	1,00	0,00	4,21	0,00	0,7	13,6	0,7	14,9	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:27	1,00	0,90	0,81	0,00	0,98	1,87	0,7	3,2	4,3	8,2	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:28	0,90	0,90	0,93	0,97	0,98	0,72	2,5	3,2	2,0	7,7	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:29	0,90	0,90	0,88	0,97	0,98	1,16	2,5	3,2	2,8	8,5	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:30	1,00	1,00	0,86	0,00	0,00	1,37	0,7	0,7	3,2	4,6	SIYRIK	SIYRIK

Öğrenme verileri neticesinde elde edilen tahmin denklemleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Risk skoru üzerinden kaza şiddetlerinin sınıflandırmasını yapabilen tahmin denklemleri

Kaza Türü	Tahmin Denklemi
Kalıp imalatlarında yapısal göçme	$RS = \left(0{,}40 * \left((1 - S_{TKY}) * 10\right)^2 + 1{,}51 * \left((1 - S_{TKY}) * 10\right) + 0{,}68\right) + \left(0{,}15 * \left((1 - S_{KEM}) * 10\right)^2 + 2{,}43 * \left((1 - S_{KEM}) * 10\right) + 0{,}68\right) + \left(0{,}15 * \left((1 - S_{KKD}) * 10\right)^2 + 1{,}66 * \left((1 - S_{KKD}) * 10\right) + 0{,}68\right)$
Donatı imalat ve montaj işlerinde elektrik ile temas	$RS = \left(0{,}00 * \left((1 - S_{TKY}) * 10\right)^2 + 2{,}83 * \left((1 - S_{TKY}) * 10\right) + 1{,}64\right) + \left(0{,}00 * \left((1 - S_{KEM}) * 10\right)^2 + 2{,}16 * \left((1 - S_{KEM}) * 10\right) + 1{,}64\right) + \left(0{,}20 * \left((1 - S_{KKD}) * 10\right)^2 + 5{,}15 * \left((1 - S_{KKD}) * 10\right) + 1{,}64\right)$
İskele kurulum söküm işlerinde fırlatılan/düşen cisim çarpması	$RS = \left(0{,}29 * \left((1 - S_{TKY}) * 10\right)^2 + 0{,}94 * \left((1 - S_{TKY}) * 10\right) + 0{,}47\right) + \left(0{,}20 * \left((1 - S_{KEM}) * 10\right)^2 + 1{,}20 * \left((1 - S_{KEM}) * 10\right) + 0{,}47\right) + \left(0{,}60 * \left((1 - S_{KKD}) * 10\right)^2 + 1{,}03 * \left((1 - S_{KKD}) * 10\right) + 0{,}47\right)$
Cephe imalatlarında yüksekte düşme	$RS = \left(0{,}08 * \left((1 - S_{TKY}) * 10\right)^2 + 3{,}53 * \left((1 - S_{TKY}) * 10\right) + 1{,}46\right) + \left(0{,}00 * \left((1 - S_{KEM}) * 10\right)^2 + 2{,}06 * \left((1 - S_{KEM}) * 10\right) + 1{,}46\right) + \left(0{,}17 * \left((1 - S_{KKD}) * 10\right)^2 + 3{,}23 * \left((1 - S_{KKD}) * 10\right) + 1{,}46\right)$

Kalıp imalatlarında yapısal göçme kazası için doğrulama verilerine ait kaza şiddetleri elde edilen denklem ile hesaplanmıştır. Doğrulama verilerine ait sonuçlar Çizelge 5.3'de verilmiştir ve başarısız tahminler sarı ile boyanmıştır. Örnek teşkil etmesi açısından doğrulama verilerine ait birinci kaza şiddeti aşağıda hesaplanmıştır.

$$RS = \left(0{,}40 * \left((1 - 0{,}19) * 10\right)^2 + 1{,}51 * \left((1 - 0{,}19) * 10\right) + 0{,}68\right) + \left(0{,}15 * \left((1 - 0{,}27) * 10\right)^2 + 2{,}43 * \left((1 - 0{,}27) * 10\right) + 0{,}68\right) + \left(0{,}15 * \left((1 - 0{,}69) * 10\right)^2 + 1{,}66 * \left((1 - 0{,}69) * 10\right) + 0{,}68\right) \quad (5.1)$$

$$RS = 72{,}7$$

Çizelge 5.3. Kalıp imalatlarında yapısal göçme doğrulama verisi analiz sonuçları

Kaza No	S_{TKY}	S_{KEM}	S_{KKD}	W_{TKY}	W_{KEM}	W_{KKD}	RS_{TKY}	RS_{KEM}	RS_{KKD}	RS	Netice	Tahmin
KAZA:1	0,19	0,27	0,69	8,07	7,33	3,08	38,8	26,6	7,3	72,7	AĞIR Y.	AĞIR Y.
KAZA:2	0,45	0,21	0,79	5,55	7,95	2,10	21,4	29,5	4,9	55,7	AĞIR Y.	AĞIR Y.
KAZA:3	0,90	0,44	0,79	0,97	5,55	2,10	2,5	18,8	4,9	26,2	HAFİF Y.	HAFİF Y.
KAZA:4	1,00	0,52	1,00	0,00	4,84	0,00	0,7	16,0	0,7	17,3	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:5	0,19	0,15	0,58	8,07	8,46	4,21	38,8	32,0	10,4	81,2	AĞIR Y.	ÖLÜM

Diğer kazalara ilişkin analizler detaylı olarak EK-3'te verilmiştir. Oluşturulan ağ yapısına ait doğruluk oranları ise Çizelge 5.4'da verilmiştir.

Çizelge 5.4. Ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağı tahmin doğruluk oranları

	Yapısal Göçme		Elektrik ile Temas		Fırlatılan/Düşen Cisim Çarpması		Yüksekte Düşme	
Veri Türü:	Eğitim Seti	Test Seti	Eğitim Seti	Test Seti	Eğitim Seti	Test Seti	Eğitim Seti	Test Seti
Doğruluk Oranı:	30/30 (100%)	4/5 (80%)	30/30 (100%)	5/5 (100%)	30/30 (100%)	5/5 (100%)	30/30 (100%)	4/5 (80%)

Metodun, ön bilgilendirmesiz yapay sinir ağlarına karşı performansının karşılaştırılması amacıyla ortak bir konfigürasyon kurularak aynı veri setlerinde analizleri yapılmıştır.

Her iki YSA türü için de hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Ön bilgilendirmesiz YSA için IBM firmasının SPSS programı üzerinden yapay sinir ağları arayüzü kullanılarak modellemesi yapılmıştır. Her iki YSA türü için aynı şartlarda yapılan analizlerine ait sonuçlar ve uygulamada kullanılan konfigürasyona ait ağ sonucu karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Kıyaslama yapılan yapay sinir ağlarına ilişkin ağ konfigürasyonları ve tahmin doğruluk oranları

METOT:		Ön Bilgilendirmesiz Yapay Sinir Ağı	Ön Bilgilendirmeli Yapay Sinir Ağı	Ön Bilgilendirmeli Yapay Sinir Ağı
Kullanılan Yazılım/Arayüz		SPSS - Neural Networks Engine	EXCEL VBA + SOLVER	EXCEL VBA + SOLVER
Ağ Topolojisi		Multilayer Perceptron (MP)	MP	MP
Gizli Katman Sayısı		1	1	1
Yapay Hücre Sayısı		6 (Hücre) + 1 (Bias)	6 (Hücre) + 3 (Bias)	6 (Hücre) + 3 (Bias)
Aktivasyon Fonksiyonu		Hiperbolik Tanjant (6 Hücre) $\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$	Hiperbolik Tanjant (6 Hücre)	Parabolik Fonksiyon 3 Hücre; $f(x) = x^2$ 3 Hücre; $f(x) = x$
Çıkış Fonksiyonu		$f(x) = x$	$f(x) = x$	$f(x) = x$
Değişken Ölçeklemesi		(x- x̄) / Standart Sap.	(x- x̄) / Standart Sap.	(1-x) * 10
Optimizasyon Algoritması		Gradient Methods	Gradient Methods	Gradient Methods
Randomizer		Mersenne Twister algorithm	Mersenne Twister	Mersenne Twister
Başlangıç Değeri		10	10	0,1
Yapısal Göçme	Eğitim Seti	26/30 (87%)	29/30 (97%)	30/30 (100%)
	Test Seti	2/5 (40%)	4/5 (80%)	4/5 (80%)
Elektrik Çarp.	Eğitim Seti	27/30 (90%)	30/30 (100%)	30/30 (100%)
	Test Seti	2/5 (40%)	4/5 (80%)	5/5 (100%)
Fır./Düşen Cisim	Eğitim Seti	30/30 (100%)	30/30 (100%)	30/30 (100%)
	Test Seti	4/5 (80%)	3/5 (60%)	5/5 (100%)
Yüksekten Düşme	Eğitim Seti	30/30 (100%)	30/30 (100%)	30/30 (100%)
	Test Seti	4/5 (80%)	4/5 (80%)	4/5 (80%)
Toplam	Eğitim Seti	113/120 (94%)	119/120 (99%)	120/120 (100%)
	Test Seti	12/20 (60%)	15/20 (75%)	18/20 (90%)

5.2. Uygulamanın Doğrulanması

Elde edilen denklemler aynı müteahhitlik şirketinde bir başka proje için kullanılabilir. İnşaat projelerinde yapılacak olan risk yönetimi kapsamında belirlenecek senaryolara bu metot ile değerlendirilebilir.

Bu çalışmada, parabolik fonksiyonlu cephe imalatlarında yüksekte düşme kazası denklemi, yeni bir projede çeşitli iş kazası senaryoları için kullanılmıştır. Önlem yöntemlerinin AHP ağırlık tabloları kullanılarak RS değerleri aşağıdaki senaryolar için hesaplanmıştır. Örnek teşkil etmesi açısından 4 senaryonun risk analizi yapılmıştır ve bu senaryoların neticesinde kazanın nasıl sonuçlanacağının tahminleri elde edilmiştir.

Öncelikle iki senaryo (senaryo 1 ve 3) oluşturulmuş olup elde edilen sonuçların şirket için kabul edilemez olduğundan, önlemler artırılarak bir altlarındaki senaryo 2 ve 4 ‘e dönüştürülmüş ve riskler başarılı bir şekilde yönetilmiştir. Bu sayede sadece PIALM metodu kullanılarak riskler analiz edilmiştir. Senaryolar, ilgili değerleri ve neticeleri Çizelge 5.6’da verilmiştir

Çizelge 5.6. Tahmin denklemlerinin senaryoların risk analizlerinde kullanılması

	Senaryo	S_{TKY}	S_{KKD}	S_{KEM}	RS	Netice
1	Toplu koruma yöntemlerinden bazı önlemlerin alınmadığı (TKY-3,8) cephe imalatlarında çalışan bir işçinin sıcaktan bunalarak (KEM-4) kişisel koruyucu donanımlarını çıkarması (KKD-2,3,4,6,7) ve isg uzmanının gözünden kaçması (KEM-1) ile işine korumasız olarak devam etmesi ve yüksekten düşmesi	0,476	0,425	0,333	62,9	Ağır Yaralanma (50-75)
2	Bütün toplu koruma önlemlerinin alındığı cephe imalatlarında çalışan bir işçinin bunalarak (KEM-4) kişisel koruyucu donanımlarını çıkarması (KKD-1,2,3,4,6) ve isg uzmanının gözünden kaçması (KEM-1) ile işine korumasız olarak devam etmesi ve yüksekten düşmesi	1,000	0,570	0,333	35,1	Hafif Yaralanma (25-50)
3	Hiçbir toplu koruma önleminin alınmadığı cephe imalatlarında, paraşüt tipi em. kemeri eksik (KKD-7) çalışan (KEM-4) bir işçinin isg uzmanının gözünden kaçması (KEM-1) ve sıcaktan başının dönmesi sonucu dengesini kaybetmesi ile yüksekten düşmesi.	0,000	0,612	0,333	76,4	Ölüm (75-100)
4	Toplu koruma yöntemi olarak sadece yaşam halatı sistemi kurulu olan cephe imalatlarında kişisel koruyucu donanımları tam teşekkürlü olarak ve isg uzmanı gözetiminde çalışan işçinin başının dönmesi sonucu aniden düşmesi	0,398	1,000	1,000	28,5	Hafif Yaralanma (25-50)

5.3. Metodun Diğer Çalışmalar ile Kıyaslanması

Yapılan literatür çalışması neticesinde AHP ve YSA metotlarını entegre kullanan iki çalışma bulunmuştur.

- Bu çalışmada kullanılan metot ile, iş kazalarında kaza şiddetinin önceden tahmin edilip azaltılması amaçlanmış olup tahmin performansı %90 olmuştur.
- Li vd. (2012), güç trafolarındaki hataları tahmin etmek ve erken müdahaleler ile olası riskleri azaltmak amacıyla bu metodu kullanmış olup %94 oranında tahmin performansı elde etmiştir.
- Gomathi ve Shanmuga Priyaa (2017) ise bireylerin alışkanlıkları ve yaşam stillerine ait parametreleri kullanarak ileride koroner kalp hastalığına yakalanıp yakalanmayacağını tahmin etmede kullandığı bu metot ile %92 tahmin performansı elde etmiştir.

Görüldüğü gibi çalışmanın neticesinde ulaşılan tahmin doğruluğu %90, Li vd. (2012)'nin ulaştığı %94 ve Gomathi ve Shanmuga Priyaa (2017)'nın ulaştığı %92 tahmin oranına hemen hemen yakın olmuştur.

5.4. Bu Çalışmadan Yapılan Yayın

Yapı üretimi sürecinde iş kazalarının ağırlıkla meydana geldiği imalat gruplarında kaza etkisini azaltabilmek için alınabilecek önlemlerin belirlenmesini ve böylece mal ve can kaybının azaltılmasını amaçlayan bu çalışma verileri kullanılarak hazırlanan makale Konya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020 yıl, 8. cilt ve 4. sayısında yayımlanmıştır (Türker ve Kanıt, 2020).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

İş kazalarında kaza şiddetinin önceden tahmin edilip azaltılması amaçlanan bu tezde ön bilgilendirilmiş yapay öğrenme metodu kullanılarak bir inşaat şirketi üzerinde uygulama yapılmıştır. Dört kaza türü için toplamda 120 geçmiş kaza verisi ağın eğitilmesinde, 20 veri ağın test edilmesinde kullanılmıştır. Parabolik aktivasyon fonksiyonu kullanılarak kurulan konfigürasyon ile eğitim veri setinin tamamı, test veri setinde ise 20 iş kazasından 18'ine ait kaza şiddeti doğru tahmin edilerek %90 oranında tahmin performansı elde edilmiştir. Eğitilen ağın tahmin denklemleri, henüz yapımına başlanılmamış başka bir inşaat projesinde gerçekleşmesi muhtemel iş kazası senaryolarında kullanılmış olup kabul edilemez seviyedeki kaza şiddetleri ek önlemler alınarak kabul edilebilir seviyelere azaltılmıştır.

Ayrıca, ön bilgilendirme aşamasının performansının ölçülmesi amacıyla aynı konfigürasyon kullanılarak ön bilgilendirmesiz yapay sinir ağı ile ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağı tahmin performansları kıyaslanmıştır. Ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağı, ön bilgilendirme aşaması olmayan yapay sinir ağına göre eğitim setinde %5, test setinde %15 daha iyi öğrenme oranı sağlamıştır. Ön bilgilendirilmiş yapay sinir ağlarından parabolik aktivasyon fonksiyonu kullanılan konfigürasyon, hiperbolik tanjant kullanılan konfigürasyona göre eğitim setinde %1, test setinde %15 daha iyi öğrenme oranı sağlamıştır. Diğer aktivasyon fonksiyonlu konfigürasyonlar öğrenme oranları düşük oldukları için kıyaslamalara katılmamıştır. Sonuç olarak ön bilgilendirme aşamasının yapay sinir ağlarında öğrenme performansını kayda değer oranda artırdığı görülmüştür. Ayrıca iş kazalarında önlem yöntemlerinin kaza neticesi ile ilişkisinde parabolik aktivasyon fonksiyonun hiperbolik tanjanta göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

6.2. Öneriler

Bu çalışma ile inşaat sektöründe faaliyet gösteren bir müteahhitlik şirketi için iş sağlığı ve güvenliği alanında iş kazalarını önlemeye yönelik ek tedbirlerin ve kontrol mekanizmalarının daha verimli kullanılmasının sağlanması amacıyla, risk azaltıcı önlemlere bakılarak kaza sonuçlarının kabul edilebilir seviyelere çekilebilmesine imkân sağlayan bir

metot önerilmiştir. İleriki çalışmalarda metodun aktivasyon fonksiyonlarının farklı tür denklemler ile test edilmesi ve ön bilgilendirme aşamasında farklı metotların kullanılabilirliği araştırılabilir.

Kamu inşaatları için 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu 10. Maddesi kapsamında tekliflerin yeterlilik değerlendirmesi ekonomik ve malî yeterlik ile mesleki ve teknik yeterlik kapsamında yapılmaktadır. Son yıllarda ihaleyi kazanabilmek için bazı katılımcılar çok düşük teklifler vermektedir. Bu yolla işi alan yükleniciler, projenin yürütülme safhasında maliyetleri azaltma düşüncesiyle İSG önlemlerini gerektiği gibi yerine getirmemektedir. Son yıllardaki iş kazaları ve ölümlerin artması, yüklenicilerin bu alanda üzerlerine düşeni yapmadıklarını ve yetersiz kaldıklarını göstermektedir. Buradan yola çıkılarak, ihaleye katılacak isteklilerden ihale için teklif fiyatıyla ilişkili olacak şekilde, İSG harcamaları için de teklif istenmeli ve yapı denetimi sürecinde bunun gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır.

Ayrıca yeterlilik hususunda geçmiş iş bitirmelerde iş sağlığı güvenliği konusundaki performansı da asgari bir yeterlilik kriterine bağlanmalıdır. Bu noktada ihaleye katılacak istekliler, bu çalışma doğrultusunda teklif hazırlarken daha gerçekçi bir yaklaşım ile maliyet tahmini yapabileceklerdir.

KAYNAKLAR

Alizadeh, S. S., Mortazavi, S. B. and Mehdi Sepehri, M. (2015). Assessment of accident severity in the construction industry using the bayesian theorem. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 21(4), 551-557.

Aminbakhsh, S., Gunduz, M. and Sonmez, R. (2013). Safety risk assessment using analytic hierarchy process (ahp) during planning and budgeting of construction projects. *Journal of Safety Research*, 46, 99-105.

Bhushan, N. and Rai, K. (2007). *Strategic decision making: Applying the analytic hierarchy process*. UK: Springer Science & Business Media.

Chen, F., Wang, H., Xu, G., Ji, H., Ding, S. and Wei, Y. (2020). Data-driven safety enhancing strategies for risk networks in construction engineering. *Reliability Engineering & System Safety*, 197(106806).

Clarke, S. (2006). The relationship between safety climate and safety performance: A meta-analytic review. *Journal of Occupational Health Psychology*, 11(4), 315-327.

Da Silva, I. N., Hernane Spatti, D., Andrade Flauzino, R., Liboni, L. H. B. and Dos Reis Alves, S. F. (2017). *Artificial neural networks : A practical course*. Switzerland: Springer International Publishing

Emrouznejad, A. and Marra, M. (2017). The state of the art development of ahp (1979–2017): A literature review with a social network analysis. *International Journal of Production Research*, 55(22), 6653-6675.

EUROSTAT. (2021). Fatal accidents at work by nace rev. 2 activity. Adres: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/HSW_N2_02__custom_771641/default/table?lang=en, Erişim Tarihi: 04.04.2021

Fukami, K., Hasegawa, K., Nakamura, T. (2021). Model Order Reduction with Neural Networks: Application to Laminar and Turbulent Flows. *SN COMPUT. SCI*. 2(467).

Gomathi, K., & Shanmuga Priyaa, D. (2017). A fuzzy analytic hierarchy attribute weighting and deep learning for improving CHD prediction of optimized semi parametric extended dynamic bayesian network. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(1.1), 150-157.

Gurcanli, G. E., Bilir, S. and Sevim, M. (2015). Activity based risk assessment and safety cost estimation for residential building construction projects. *Safety Science*, 80, 1-12.

Gurcanli, G. E. and Mungen, U. (2009). An occupational safety risk analysis method at construction sites using fuzzy sets. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(2), 371-387.

Gurcanli, G. E. and Mungen, U. (2013). Analysis of construction accidents in turkey and responsible parties. *Industrial Health*, 51(6), 581-595.

Hagan Martin, T., Demuth Howard, B. and Beale Mark, H. (2014). *Neural network design 2nd edition*. United States: University of Colorado at Boulder.

Hamid, A. R. A., Noor Azmi, M. R. A., Aminudin, E., Jaya, R. P., Zakaria, R., Zawawi, A. M. M., Saar, C. C. (2019). *Causes of fatal construction accidents in malaysia*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 220, 012044.

Haslam, R. A., Hide, S. A., Gibb, A. G. F., Gyi, D. E., Pavitt, T., Atkinson, S. and Duff, A. R. (2005). Contributing factors in construction accidents. *Applied Ergonomics*, 36(4), 401-415.

Ilbahar, E., Karasan, A., Cebi, S. and Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using pythagorean fuzzy ahp & fuzzy inference system. *Safety Science*, 103, 124-136.

İnternet: Clarivate Analytics. Web of science - core collection result analysis. URL: https://wcs.webofknowledge.com/RA/analyze.do?product=WOS&SID=D4BYF6KhnFFHJ6hGWXw&field=PY_PublicationYear_PublicationYear_en&yearSort=true , Erişim Tarihi:20.07.2021.

İnternet: ILOSTAT. (2021). Cases of fatal occupational injury by economic activity annual. Adres:https://ilostat.ilo.org/topics/safety-and-health-at-work/#elementor-toc__heading-anchor-1, Erişim Tarihi: 04.04.2021

İnternet: Sosyal Guvenlik Kurumu. (2018). Sgk İstatistik yıllıkları, Adres: http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari, Erişim Tarihi: 14.06.2020

İnternet: U.S. Bureau of Labor Statistics. (2021). Census of fatal occupational injuries (cfoi) - archived annual data. , Adres: https://www.bls.gov/iif/oshcfoiarchive.htm, Erişim Tarihi: 04.04.2021

Karadal, H., Merdan, E. ve Abubakar, M. (2019). Güvenlik İklimi ve güvenlik kültürünün İşyeri yaralanmaları üzerine etkisinde güvenlik davranışlarının aracılık rolü: Döküm sanayinde bir araştırma. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(6), 329-339.

Krenker, A., Bešter, J. and Kos, A. (2011). Introduction to the artificial neural networks. Artificial Neural Networks: Methodological Advances and Biomedical Applications. *InTech*, 1-18.

Li, W.-G., Yu, Q. and Luo, R.-C. (2012). Application of fuzzy analytic hierarchy process and neural network in power transformer risk assessment. *Journal of Central South University*, 19(4), 982-987.

Maynard, M. (2020). Neural networks: Introduction to artificial neurons, backpropagation and multilayer feedforward neural networks with real-world applications: Independently Published.

Mcculloch, W. S. and Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, 5(4), 115-133.

Meng, W.-L., Shen, S. and Zhou, A. (2018). Investigation on fatal accidents in chinese construction industry between 2004 and 2016. *Natural Hazards*, 94(2), 655-670.

Mistikoglu, G., Gerek, I. H., Erdis, E., Usmen, P. E. M., Cakan, H. and Kazan, E. E. (2015). Decision tree analysis of construction fall accidents involving roofers. *Expert Systems with Applications*, 42(4), 2256-2263.

Mohammadfam, I., Soltanzadeh, A., Moghimbeigi, A. and Savareh, B. A. (2015). Use of artificial neural networks (anns) for the analysis and modeling of factors that affect occupational injuries in large construction industries. *Electronic physician*, 7(7), 1515-1522.

Öztemel, E. (2006). Yapay sinir ağları (İkinci Baskı). İstanbul: Papatya Yayıncılık, 30

Patel, H. A., & Kumar, A. (Eds.). (2021). *Applications of Artificial Neural Networks for Nonlinear Data*. IGI Global. http://doi:10.4018/978-1-7998-4042-8

Pinto, A., Ribeiro, R. A. and Nunes, I. L. (2012). Fuzzy approach for reducing subjectivity in estimating occupational accident severity. *Accid Anal Prev*, 45, 281-290.

Saaty, Thomas L. (1972), *An Eigenvalue Allocation Model for Prioritization and Planning*, University of Pennsylvania Energy Management and Policy Center: 28–31.

Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281.

Seker, S. and Zavadskas, E. K. (2017). Application of fuzzy dematel method for analyzing occupational risks on construction sites. *Sustainability*, 9(11), 19.

Shafique, M. and Rafiq, M. (2019). An overview of construction occupational accidents in hong kong: A recent trend and future perspectives. *Applied Sciences*, 9(10).

Türker, M. ve Kanıt, R. (2020). Yapı üretim sürecindeki İş kazalari şiddetinin ön bilgilendirilmiş yapay öğrenme metodu ile tahmini. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(4), 943-956.

Virendra Rajput, Dinesh Kumar, Arun Sharma, Shubham Singh and Rambhagat. (2018). A literature review on ahp (analytic hierarchy process). *Journal for Advanced Research In Applied Sciences*, 5(1), 349–355.

Winge, S. and Albrechtsen, E. (2018). Accident types and barrier failures in the construction industry. *Safety Science*, 105, 158-166.

Winge, S., Albrechtsen, E. and Mostue, B. A. (2019). Causal factors and connections in construction accidents. *Safety Science*, 112, 130-141.

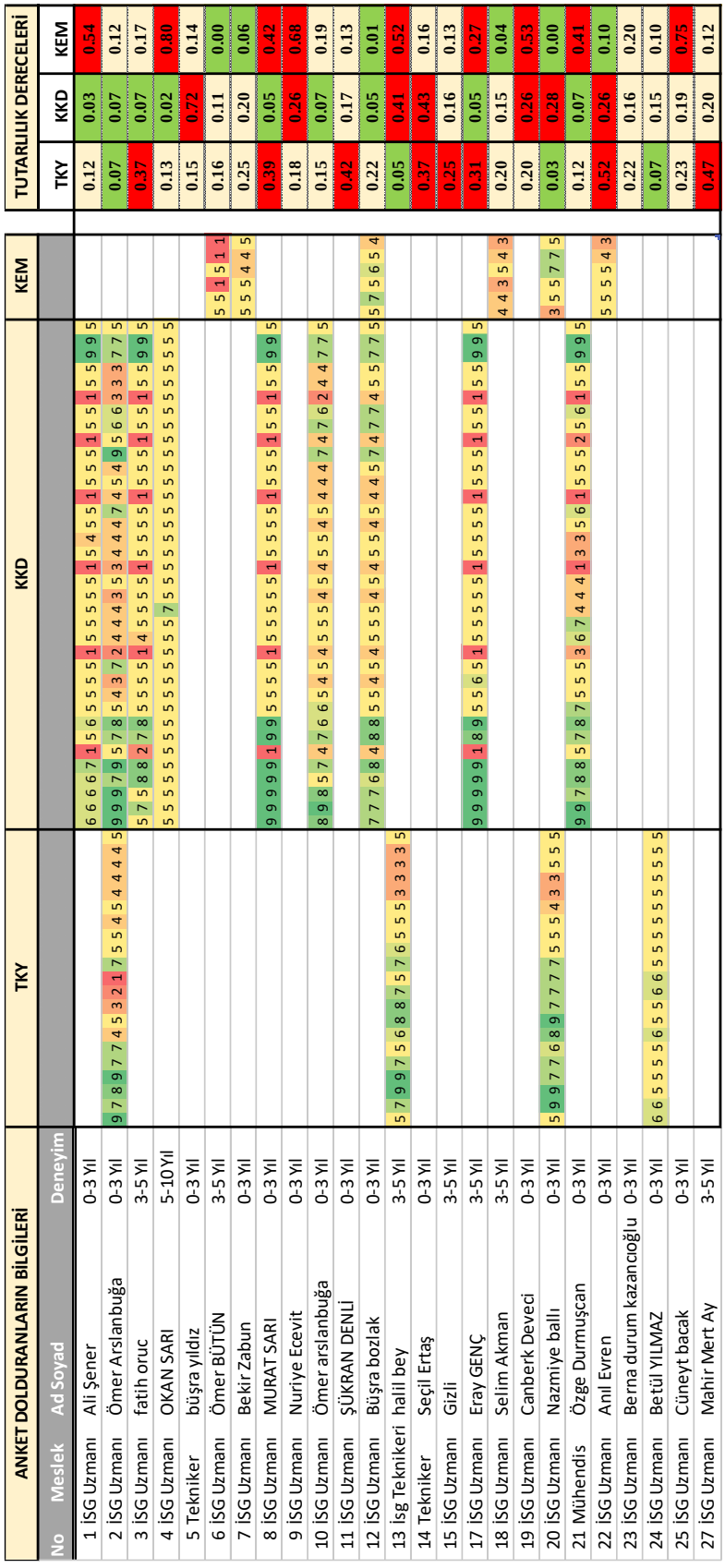
Yilmaz, M. and Kanıt, R. (2018). A practical tool for estimating compulsory ohs costs of residential building construction projects in turkey. *Safety Science*, 101, 326-331.

Zhao, W. H. and Iop. (2019). *Correlative analysis of occupational health management in construction companies to related factors based on fuzzy clustering and grey theory*, 2019 3rd international workshop on renewable energy and development (Vol. 267).

Zharkova V.V., Schetinin V. (2003) *A Neural-Network Technique for Recognition of Filaments in Solar Images*. In: Palade V., Howlett R.J., Jain L. (eds) Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems. KES 2003. Lecture Notes in Computer Science, vol 2773. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-45224-9_22

EKLER

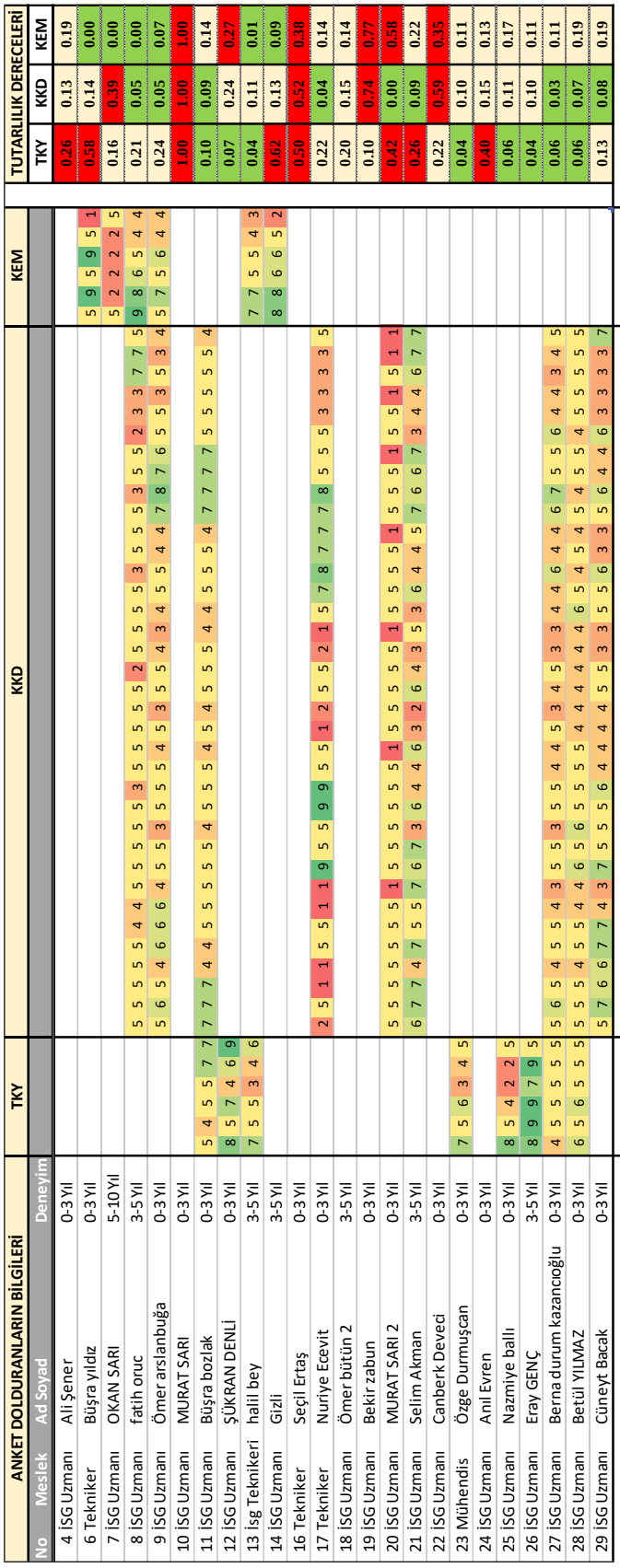
EK-1. Anket sonuçları



ANKET DOLDURANLARIN BİLGİLERİ				TKY	KKD	KEM	TUTARLILIK DERECELERİ		
No	Meslek	Ad Soyad	Deneyim				TKY	KKD	KEM
1	İSG Uzmanı	Ali Şener	0-3 Yıl	6 6 6 6 7 1 5 6 5 5 5 5 1 5 5 5 5 1 4 5 5 1 5 5 5 1 5 5 9 9 5			0.12	0.03	0.54
2	İSG Uzmanı	Ömer Arslanbuğa	0-3 Yıl	9 7 8 9 7 7 4 5 3 2 1 7 5 5 4 5 4 4 4 4 5 9 9 9 7 9 5 7 8 5 4 3 7 2 4 4 4 3 5 3 4 4 4 7 4 5 4 9 5 6 6 3 3 3 7 7 5			0.07	0.07	0.12
3	İSG Uzmanı	fatih oruc	3-5 Yıl	5 7 5 8 8 2 7 8 5 5 5 5 1 4 5 5 5 5 1 5 5 5 5 1 5 5 5 1 5 5 9 9 5			0.37	0.07	0.17
4	İSG Uzmanı	OKAN SARI	5-10 Yıl	5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 7 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5			0.13	0.02	0.80
5	Tekniker	büşra yıldız	0-3 Yıl				0.15	0.72	0.14
6	İSG Uzmanı	Ömer BÜTÜN	3-5 Yıl			5 5 1 5 1 1	0.16	0.11	0.00
7	İSG Uzmanı	Bekir Zabun	0-3 Yıl			5 5 5 4 4 5	0.25	0.20	0.06
8	İSG Uzmanı	MURAT SARI	0-3 Yıl	9 9 9 9 9 1 9 9 5 5 5 5 1 5 5 5 5 1 5 5 5 1 5 5 9 9 5			0.39	0.05	0.42
9	İSG Uzmanı	Nuriye Ecevit	0-3 Yıl				0.18	0.26	0.68
10	İSG Uzmanı	Ömer arslanbuğa	0-3 Yıl	8 9 8 5 7 4 7 6 6 5 4 5 4 5 5 5 4 5 4 5 5 4 4 4 4 7 4 7 6 2 4 4 7 7 5			0.15	0.07	0.19
11	İSG Uzmanı	ŞÜKRAN DENLİ	0-3 Yıl				0.42	0.17	0.13
12	İSG Uzmanı	Büşra bozlak	0-3 Yıl	7 7 7 6 8 4 8 8 5 5 4 5 4 5 5 4 5 5 4 5 5 4 5 4 4 5 7 4 7 7 4 5 5 7 7 5 5 7 5 6 5 4			0.22	0.05	0.01
13	İsg Teknikeri	halil bey	3-5 Yıl	5 7 9 9 7 5 6 8 8 7 5 7 6 5 5 5 3 3 3 3 5			0.05	0.41	0.52
14	Tekniker	Seçil Ertaş	0-3 Yıl				0.37	0.43	0.16
15	İSG Uzmanı	Gizli	3-5 Yıl				0.25	0.16	0.13
17	İSG Uzmanı	Eray GENÇ	3-5 Yıl	9 9 9 9 9 1 8 9 5 5 6 5 1 5 5 5 5 5 1 5 5 5 1 5 5 9 9 5			0.31	0.05	0.27
18	İSG Uzmanı	Selim Akman	3-5 Yıl			4 4 3 5 4 3	0.20	0.15	0.04
19	İSG Uzmanı	Canberk Deveci	0-3 Yıl				0.20	0.26	0.53
20	İSG Uzmanı	Nazmiye ballı	0-3 Yıl	5 9 9 7 7 6 8 9 7 7 7 5 5 5 4 3 3 5 5 5		3 5 5 7 7 5	0.03	0.28	0.00
21	Mühendis	Özge Durmuşcan	0-3 Yıl	9 9 7 8 8 5 7 8 7 5 5 5 3 6 7 4 4 4 1 3 3 5 6 1 5 5 2 5 6 1 5 5 9 9 5			0.12	0.07	0.41
22	İSG Uzmanı	Anıl Evren	0-3 Yıl			5 5 5 5 4 3	0.52	0.26	0.10
23	İSG Uzmanı	Berna durum kazancıoğlu	0-3 Yıl				0.22	0.16	0.20
24	İSG Uzmanı	Betül YILMAZ	0-3 Yıl	6 6 5 5 5 6 5 5 6 6 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5			0.07	0.15	0.10
25	İSG Uzmanı	Cüneyt bacak	0-3 Yıl				0.23	0.19	0.75
27	İSG Uzmanı	Mahir Mert Ay	3-5 Yıl				0.47	0.20	0.12
		ORTALAMA DEĞERLER		6 7 8 8 7 6 6 7 6 6 5 7 5 5 5 4 4 4 4 5	7 8 7 7 8 3 7 7 5 5 5 2 5 5 5 4 5 2 5 5 5 2 5 5 6 3 6 6 2 5 5 8 8 5	5 5 4 5 4 4			

Şekil 1.1. Cephe imalatlarında yüksekten düşme kazası için anket sonuçları

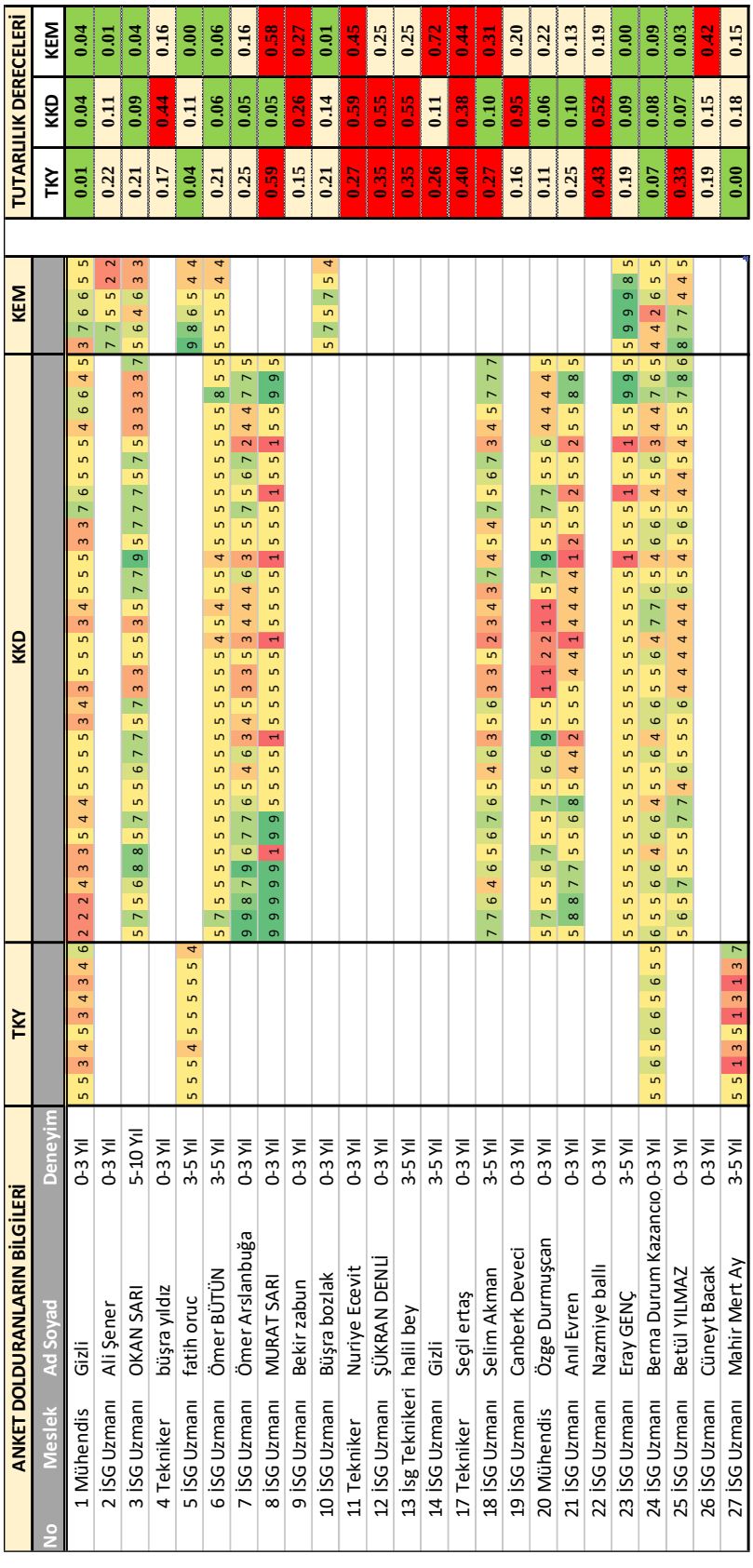
EK-1. (devam) Anket sonuçları



No	Meslek	Ad Soyad	Deneyim	TKY	KKD	KEM	TKY	KKD	KEM
4	İSG Uzmanı	Ali Şener	0-3 Yıl				0.26	0.13	0.19
6	Tekniker	Büşra yıldız	0-3 Yıl			5 9 5 9 5 1	0.58	0.14	0.00
7	İSG Uzmanı	OKAN SARI	5-10 Yıl			5 2 2 2 2 5	0.16	0.39	0.00
8	İSG Uzmanı	fatih oruc	3-5 Yıl		5 5 5 5 4 4 5 5 5 5 5 3 5 5 5 5 5 2 5 5 5 5 5 3 5 5 5 3 7 7 5	9 8 6 5 4 4	0.21	0.05	0.00
9	İSG Uzmanı	Ömer arslanbuğa	0-3 Yıl		5 6 5 4 6 6 6 4 5 5 3 5 5 5 4 5 5 3 5 5 4 3 4 5 5 4 4 7 8 7 6 5 5 3 5 3 4	5 7 5 6 4 4	0.24	0.05	0.07
10	İSG Uzmanı	MURAT SARI	0-3 Yıl				1.00	1.00	1.00
11	İSG Uzmanı	Büşra bozlak	0-3 Yıl	5 4 5 5 7 7	7 7 7 4 4 5 5 5 5 4 5 5 4 5 5 5 4 4 5 5 5 4 4 7 7 7 7 5 5 5 5 5 4		0.10	0.09	0.14
12	İSG Uzmanı	ŞÜKRAN DENLİ	0-3 Yıl	8 5 7 4 6 9			0.07	0.24	0.27
13	İsg Teknikeri	halil bey	3-5 Yıl	7 5 5 3 4 6		7 7 5 5 4 3	0.04	0.11	0.01
14	İSG Uzmanı	Gizli	3-5 Yıl			8 8 6 6 5 2	0.62	0.13	0.09
16	Tekniker	Seçil Ertaş	0-3 Yıl				0.50	0.52	0.38
17	Tekniker	Nuriye Ecevit	0-3 Yıl		2 5 1 1 5 5 1 1 9 5 5 9 9 5 5 1 2 5 5 2 1 5 7 8 7 7 7 8 5 5 5 3 3 3 3 5		0.22	0.04	0.14
18	İSG Uzmanı	Ömer bütün 2	3-5 Yıl				0.20	0.15	0.14
19	İSG Uzmanı	Bekir zabun	0-3 Yıl				0.10	0.74	0.77
20	İSG Uzmanı	MURAT SARI 2	0-3 Yıl		5 5 5 5 5 5 5 1 5 5 5 5 5 1 5 5 5 5 1 5 5 5 1 5 5 1 5 5 1 1		0.42	0.00	0.58
21	İSG Uzmanı	Selim Akman	3-5 Yıl		6 7 7 4 7 5 5 7 6 7 3 6 4 4 6 3 2 6 4 3 5 3 6 4 4 5 7 6 6 7 3 4 4 6 7 7		0.26	0.09	0.22
22	İSG Uzmanı	Canberk Deveci	0-3 Yıl				0.22	0.59	0.35
23	Mühendis	Özge Durmuşcan	0-3 Yıl	7 5 6 3 4 5			0.04	0.10	0.11
24	İSG Uzmanı	Anıl Evren	0-3 Yıl				0.40	0.15	0.13
25	İSG Uzmanı	Nazmiye ballı	0-3 Yıl	8 5 4 2 2 5			0.06	0.11	0.17
26	İSG Uzmanı	Eray GENÇ	3-5 Yıl	8 9 9 7 9 5			0.04	0.10	0.11
27	İSG Uzmanı	Berna durum kazancıoğlu	0-3 Yıl	4 5 5 5 5 5	5 6 5 4 5 5 4 3 5 5 3 5 5 4 4 5 3 3 4 4 6 4 4 6 7 5 5 6 4 4 3 4 5		0.06	0.03	0.11
28	İSG Uzmanı	Betül YILMAZ	0-3 Yıl	6 5 6 5 5 5	5 5 5 4 5 5 4 4 6 5 6 5 5 5 4 4 4 4 4 6 5 4 5 4 5 5 4 5 5 5 5 5 5		0.06	0.07	0.19
29	İSG Uzmanı	Cüneyt Bacak	0-3 Yıl		5 7 6 6 7 7 4 3 7 5 5 5 6 4 4 4 4 5 5 3 3 5 5 6 3 3 5 6 4 4 6 3 3 3 3 7		0.13	0.08	0.19
		ORTALAMA DEĞERLER		7 5 6 4 5 6	5 6 5 4 5 5 4 4 6 5 4 6 5 5 4 4 4 3 5 5 5 5 4 6 6 5 5 5 4 3 5 4 5	7 7 5 6 4 3			

Şekil 1.2. Donatı imalatlarında elektrik ile temas kazası için anket sonuçları

EK-1. (devam) Anket sonuçları



ANKET DOLDURANLARIN BİLGİLERİ				TKY										KKD																								KEM												TUTARLILIK DERECELERİ		
No	Meslek	Ad Soyad	Deneyim																																														TKY	KKD	KEM
1	Mühendis	Gizli	0-3 Yıl	5	5	3	4	5	3	4	3	4	6	2	2	4	3	3	5	4	4	5	5	5	5	3	4	3	5	5	5	3	4	5	5	5	3	3	7	6	5	5	4	6	6	4	5	3	7	6	6	5	5	0.01	0.04	0.04
2	İSG Uzmanı	Ali Şener	0-3 Yıl																																														7	7	5	5	2	2	0.22	0.11	0.01
3	İSG Uzmanı	OKAN SARI	5-10 Yıl											5	7	5	6	8	8	5	7	5	5	6	7	7	5	7	3	3	5	5	3	5	7	7	9	5	7	7	5	7	5	3	3	3	7	5	6	4	6	3	3	0.21	0.09	0.04
4	Tekniker	büşra yıldız	0-3 Yıl																																																	0.17	0.44	0.16
5	İSG Uzmanı	fatih oruc	3-5 Yıl	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4																																			9	8	6	5	4	4	0.04	0.11	0.00
6	İSG Uzmanı	Ömer BÜTÜN	3-5 Yıl											5	7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	0.21	0.06	0.06
7	İSG Uzmanı	Ömer Arslanbuğa	0-3 Yıl											9	9	8	7	9	6	7	7	6	5	4	6	3	4	5	3	3	5	5	3	4	4	4	6	3	5	5	5	7	5	6	7	2	4	4	7	7	5			0.25	0.05	0.16
8	İSG Uzmanı	MURAT SARI	0-3 Yıl											9	9	9	9	9	1	9	9	5	5	5	5	1	5	5	5	5	5	1	5	5	5	5	5	1	5	5	5	5	5	1	5	5	5	1	5	5	9	5		0.59	0.05	0.58
9	İSG Uzmanı	Bekir zabun	0-3 Yıl																																																		0.15	0.26	0.27
10	İSG Uzmanı	Büşra bozlak	0-3 Yıl																																																		0.21	0.14	0.01
11	Tekniker	Nuriye Ecevit	0-3 Yıl																																																		0.27	0.59	0.45
12	İSG Uzmanı	ŞÜKRAN DENLİ	0-3 Yıl																																																		0.35	0.55	0.25
13	İsg Teknikeri	halil bey	3-5 Yıl																																																		0.35	0.55	0.25
14	İSG Uzmanı	Gizli	3-5 Yıl																																																		0.26	0.11	0.72
17	Tekniker	Seçil ertaş	0-3 Yıl																																																		0.40	0.38	0.44
18	İSG Uzmanı	Selim Akman	3-5 Yıl											7	7	6	4	6	5	6	7	6	5	4	6	3	5	6	3	3	5	2	3	4	3	7	4	5	4	7	5	6	7	3	4	5	7	7	7			0.27	0.10	0.31
19	İSG Uzmanı	Canberk Deveci	0-3 Yıl																																																		0.16	0.95	0.20
20	Mühendis	Özge Durmuşcan	0-3 Yıl											5	7	5	5	6	7	5	5	7	5	6	9	6	9	5	5	1	1	2	2	1	1	5	7	9	5	5	7	7	5	5	6	4	4	4	4	5			0.11	0.06	0.22
21	İSG Uzmanı	Anıl Evren	0-3 Yıl											5	8	8	7	7	5	5	6	8	5	4	4	2	5	5	5	4	4	1	4	4	4	4	1	2	5	5	2	5	5	5	8	8	5							0.25	0.10	0.13
22	İSG Uzmanı	Nazmiye ballı	0-3 Yıl																																																		0.43	0.52	0.19
23	İSG Uzmanı	Eray GENÇ	3-5 Yıl											5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	5	5	1	5	5	9	9	5	5	9	9	9	8	5		0.19	0.09	0.00
24	İSG Uzmanı	Berna Durum Kazancıo	0-3 Yıl	5	5	6	5	6	6	5	6	5	5	6	5	5	6	6	4	6	6	4	5	5	6	4	6	5	5	6	4	7	7	6	5	4	6	6	5	4	5	6	3	4	4	7	6	5	4	4	2	6	5	5	0.07	0.08	0.09
25	İSG Uzmanı	Betül YILMAZ	0-3 Yıl											5	6	5	7	5	5	5	7	7	4	6	5	5	5	6	4	4	4	4	4	6	5	4	5	4	5	5	5	7	8	6	8	7	7	4	4	5			0.33	0.07	0.03
26	İSG Uzmanı	Cüneyt Bacak	0-3 Yıl																																																		0.19	0.15	0.42
27	İSG Uzmanı	Mahir Mert Ay	3-5 Yıl	5	5	1	3	5	1	3	1	3	7																																								0.00	0.18	0.15
	ORTALAMA DEĞERLER			5	5	4	4	5	4	4	4	4	6	6	7	6	6	6	5	6	6	6	5	5	4	5	4	5	5	4	4	5	3	4	4	5	6	4	5	6	4	5	6	3	4	5	7	6	5	6	7	5	6	4	4			

Şekil 1.3. Fırlatılan/düşen cisim çarpması kazası için anket sonuçları

EK-2. Anket sonuçlarının AHP ile analiz edilmesi

Çizelge 2.1. Yapısal göçme kazası için KKD önlem grubu nitel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	KKD-1	KKD-2	KKD-3	KKD-4	KKD-5	KKD-6	KKD-7	KKD-8	KKD-9
KKD-1	BARET	EŞİT ÖNEM	AZ ÜSTÜN	ÜSTÜN	AZ ÜSTÜN	AZ ÜSTÜN	ÜSTÜN	AZ HAKİR	AZ ÜSTÜN	AZ ÜSTÜN
KKD-2	KORUYUCU GÖZLÜK		EŞİT ÖNEM	AZ ÜSTÜN	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	AZ ÜSTÜN	HAKİR	EŞİT ÖNEM	AZ ÜSTÜN
KKD-3	TOZ MASKESİ			EŞİT ÖNEM	AZ HAKİR	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	HAKİR	AZ HAKİR	EŞİT ÖNEM
KKD-4	YÜZ SİPERİ				EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	HAKİR	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM
KKD-5	İŞ ELBİSESİ					EŞİT ÖNEM	AZ ÜSTÜN	HAKİR	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM
KKD-6	REFLEKTÖR						EŞİT ÖNEM	HAKİR	AZ HAKİR	AZ HAKİR
KKD-7	PARAŞÜT T. EM. KEMERİ							EŞİT ÖNEM	ÜSTÜN	ÜSTÜN
KKD-8	İŞ AYAKKABISI								EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM
KKD-9	KORUYUCU ELDİVEN									EŞİT ÖNEM

Çizelge 2.2. Yapısal göçme kazası için KKD önlem grubu nicel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	KKD-1	KKD-2	KKD-3	KKD-4	KKD-5	KKD-6	KKD-7	KKD-8	KKD-9
KKD-1	BARET	1,00	3,00	5,00	3,00	3,00	5,00	0,33	3,00	3,00
KKD-2	KORUYUCU GÖZLÜK	0,33	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	0,20	1,00	3,00
KKD-3	TOZ MASKESİ	0,20	0,33	1,00	0,33	1,00	1,00	0,20	0,33	1,00
KKD-4	YÜZ SİPERİ	0,33	1,00	3,00	1,00	1,00	1,00	0,20	1,00	1,00
KKD-5	İŞ ELBİSESİ	0,33	1,00	1,00	1,00	1,00	3,00	0,20	1,00	1,00
KKD-6	REFLEKTÖR	0,20	0,33	1,00	1,00	0,33	1,00	0,20	0,33	0,33
KKD-7	PARAŞÜT T. EM. KEMERİ	3,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	1,00	5,00	5,00
KKD-8	İŞ AYAKKABISI	0,33	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	0,20	1,00	1,00
KKD-9	KORUYUCU ELDİVEN	0,33	0,33	1,00	1,00	1,00	3,00	0,20	1,00	1,00
∑	TOPLAMLAR	6,07	13,00	23,00	14,33	14,33	25,00	2,73	13,67	16,33

Çizelge 2.3. Yapısal göçme kazası için KKD önlem grubu ağırlıklarının elde edilmesi

NO	DONANIM ADI	KKD-1	KKD-2	KKD-3	KKD-4	KKD-5	KKD-6	KKD-7	KKD-8	KKD-9	w
KKD-1	BARET	0,16	0,23	0,22	0,21	0,21	0,20	0,12	0,22	0,18	0,20
KKD-2	KORUYUCU GÖZLÜK	0,05	0,08	0,13	0,07	0,07	0,12	0,07	0,07	0,18	0,09
KKD-3	TOZ MASKESİ	0,03	0,03	0,04	0,02	0,07	0,04	0,07	0,02	0,06	0,04
KKD-4	YÜZ SİPERİ	0,05	0,08	0,13	0,07	0,07	0,04	0,07	0,07	0,06	0,07
KKD-5	İŞ ELBİSESİ	0,05	0,08	0,04	0,07	0,07	0,12	0,07	0,07	0,06	0,07
KKD-6	REFLEKTÖR	0,03	0,03	0,04	0,07	0,02	0,04	0,07	0,02	0,02	0,04
KKD-7	PARAŞÜT T. EM. KEMERİ	0,49	0,38	0,22	0,35	0,35	0,20	0,37	0,37	0,31	0,34
KKD-8	İŞ AYAKKABISI	0,05	0,08	0,13	0,07	0,07	0,12	0,07	0,07	0,06	0,08
KKD-9	KORUYUCU ELDİVEN	0,05	0,03	0,04	0,07	0,07	0,12	0,07	0,07	0,06	0,07

EK-2. (devam) Anket sonuçlarının AHP ile analiz edilmesi

Çizelge 2.4. Yapısal göçme kazası için KEM önlem grubu nitel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	KEM-1	KEM-2	KEM-3	KEM-4
KEM-1	İSG UZMANI	~~EŞİT ÖNEM~~	AZ ÜSTÜN	AZ ÜSTÜN	AZ ÜSTÜN
KEM-2	İŞ YERİ HEKİMİ		~~EŞİT ÖNEM~~	AZ ÜSTÜN	EŞİT ÖNEM
KEM-3	MUAYENELER			~~EŞİT ÖNEM~~	AZ HAKİR
KEM-4	İSG EĞİTİMLERİ				~~EŞİT ÖNEM~~

Çizelge 2.5. Yapısal göçme kazası için KEM önlem grubu nicel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	KEM-1	KEM-2	KEM-3	KEM-4
KEM-1	İSG UZMANI	~~1,00~~	3,00	3,00	3,00
KEM-2	İŞ YERİ HEKİMİ	0,33	~~1,00~~	3,00	1,00
KEM-3	MUAYENELER	0,33	0,33	~~1,00~~	0,33
KEM-4	İSG EĞİTİMLERİ	0,33	1,00	3,00	~~1,00~~
∑	TOPLAMLAR	2,00	5,33	10,00	5,33

Çizelge 2.6. Yapısal göçme kazası için KEM önlem grubu ağırlıklarının elde edilmesi

NO	DONANIM ADI	KEM-1	KEM-2	KEM-3	KEM-4	w
KEM-1	İSG UZMANI	~~0,50~~	0,56	0,30	0,56	0,48
KEM-2	İŞ YERİ HEKİMİ	0,17	~~0,19~~	0,30	0,19	0,21
KEM-3	MUAYENELER	0,17	0,06	~~0,10~~	0,06	0,10
KEM-4	İSG EĞİTİMLERİ	0,17	0,19	0,30	~~0,19~~	0,21

Çizelge 2,7. Elektrik ile temas kazası için TKY önlem grubu nitel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	TKY-9	TKY-6	TKY-10	TKY-7
TKY-9	SEYYAR ELEKTRİK DAĞITIM PANOSU	~~EŞİT ÖNEM~~	ÜSTÜN	EŞİT ÖNEM	AZ ÜSTÜN
TKY-6	GÜVENLİK ALAN PERDESİ		~~EŞİT ÖNEM~~	AZ HAKİR	EŞİT ÖNEM
TKY-10	UYARICI VE BİLGİLENDİRİCİ LEVHALAR			~~EŞİT ÖNEM~~	AZ ÜSTÜN
TKY-7	İLK YARDIM ÇANTASI, YANGIN TÜPÜ				~~EŞİT ÖNEM~~

Çizelge 2.8. Elektrik ile temas kazası için TKY önlem grubu nicel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	TKY-9	TKY-6	TKY-10	TKY-7
TKY-9	İSG UZMANI	~~1,00~~	5,00	1,00	3,00
TKY-6	İŞ YERİ HEKİMİ	0,20	~~1,00~~	0,33	1,00
TKY-10	MUAYENELER	1,00	3,00	~~1,00~~	3,00
TKY-7	İSG EĞİTİMLERİ	0,33	1,00	0,33	~~1,00~~
∑	TOPLAMLAR	2,53	10,00	2,67	8,00

EK-2. (devam) Anket sonuçlarının AHP ile analiz edilmesi

Çizelge 2.9. Elektrik ile temas kazası için TKY önlem grubu ağırlıklarının elde edilmesi

NO	DONANIM ADI	TKY-9	TKY-6	TKY-10	TKY-7	w
TKY-9	İSG UZMANI	0,39	0,50	0,38	0,38	0,41
TKY-6	İŞ YERİ HEKİMİ	0,08	0,10	0,13	0,13	0,11
TKY-10	MUAYENELER	0,39	0,30	0,38	0,38	0,36
TKY-7	İSG EĞİTİMLERİ	0,13	0,10	0,13	0,13	0,12

Çizelge 2.10. Elektrik ile temas kazası için KKD önlem grubu nitel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	KKD-1	KKD-2	KKD-3	KKD-4	KKD-5	KKD-6	KKD-7	KKD-8	KKD-9
KKD-1	BARET	***EŞİT ÖNEM***	EŞİT ÖNEM	AZ ÜSTÜN	EŞİT ÖNEM	AZ HAKİR	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	AZ HAKİR	AZ HAKİR
KKD-2	KORUYUCU GÖZLÜK		***EŞİT ÖNEM***	AZ ÜSTÜN	EŞİT ÖNEM	AZ HAKİR	AZ ÜSTÜN	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	AZ HAKİR
KKD-3	TOZ MASKESİ			***EŞİT ÖNEM***	AZ HAKİR	AZ HAKİR	EŞİT ÖNEM	AZ HAKİR	AZ HAKİR	HAKİR
KKD-4	YÜZ SİPERİ				***EŞİT ÖNEM***	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	AZ HAKİR
KKD-5	İŞ ELBİSESİ					***EŞİT ÖNEM***	AZ ÜSTÜN	AZ ÜSTÜN	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM
KKD-6	REFLEKTÖR						***EŞİT ÖNEM***	EŞİT ÖNEM	AZ HAKİR	HAKİR
KKD-7	PARAŞÜT T. EM. KEMERİ							***EŞİT ÖNEM***	EŞİT ÖNEM	AZ HAKİR
KKD-8	İŞ AYAKKABISI								***EŞİT ÖNEM***	EŞİT ÖNEM
KKD-9	KORUYUCU ELDİVEN									***EŞİT ÖNEM***

Çizelge 2.11. Elektrik ile temas kazası için KKD önlem grubu nicel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	KKD-1	KKD-2	KKD-3	KKD-4	KKD-5	KKD-6	KKD-7	KKD-8	KKD-9
KKD-1	BARET	1,00	1,00	3,00	1,00	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33
KKD-2	KORUYUCU GÖZLÜK	1,00	1,00	3,00	1,00	0,33	3,00	1,00	1,00	0,33
KKD-3	TOZ MASKESİ	0,33	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00	0,33	0,33	0,20
KKD-4	YÜZ SİPERİ	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33
KKD-5	İŞ ELBİSESİ	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00
KKD-6	REFLEKTÖR	1,00	0,33	1,00	1,00	0,33	1,00	1,00	0,33	0,20
KKD-7	PARAŞÜT T. EM. KEMERİ	1,00	1,00	3,00	1,00	0,33	1,00	1,00	1,00	0,33
KKD-8	İŞ AYAKKABISI	3,00	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	1,00	1,00	1,00
KKD-9	KORUYUCU ELDİVEN	3,00	3,00	5,00	3,00	1,00	5,00	3,00	1,00	1,00
∑	TOPLAMLAR	14,33	11,67	25,00	10,33	5,67	19,00	12,33	7,00	4,73

EK-2. (devam) Anket sonuçlarının AHP ile analiz edilmesi

Çizelge 2.12. Elektrik ile temas kazası için KKD önlem grubu ağırlıklarının elde edilmesi

NO	DONANIM ADI	KKD-1	KKD-2	KKD-3	KKD-4	KKD-5	KKD-6	KKD-7	KKD-8	KKD-9	w
KKD-1	BARET	0,07	0,09	0,12	0,10	0,06	0,05	0,08	0,05	0,07	0,08
KKD-2	KORUYUCU GÖZLÜK	0,07	0,09	0,12	0,10	0,06	0,16	0,08	0,14	0,07	0,10
KKD-3	TOZ MASKESİ	0,02	0,03	0,04	0,03	0,06	0,05	0,03	0,05	0,04	0,04
KKD-4	YÜZ SİPERİ	0,07	0,09	0,12	0,10	0,18	0,05	0,08	0,14	0,07	0,10
KKD-5	İŞ ELBİSESİ	0,21	0,26	0,12	0,10	0,18	0,16	0,24	0,14	0,21	0,18
KKD-6	REFLEKTÖR	0,07	0,03	0,04	0,10	0,06	0,05	0,08	0,05	0,04	0,06
KKD-7	PARAŞÜT T. EM. KEMERİ	0,07	0,09	0,12	0,10	0,06	0,05	0,08	0,14	0,07	0,09
KKD-8	İŞ AYAKKABISI	0,21	0,09	0,12	0,10	0,18	0,16	0,08	0,14	0,21	0,14
KKD-9	KORUYUCU ELDİVEN	0,21	0,26	0,20	0,29	0,18	0,26	0,24	0,14	0,21	0,22

Çizelge 2.13. Elektrik ile temas kazası için KEM önlem grubu nitel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	KEM-1	KEM-2	KEM-3	KEM-4
KEM-1	İSG UZMANI	***EŞİT ÖNEM***	ÜSTÜN	ÜSTÜN	EŞİT ÖNEM
KEM-2	İŞ YERİ HEKİMİ		***EŞİT ÖNEM***	AZ ÜSTÜN	AZ HAKİR
KEM-3	MUAYENELER			***EŞİT ÖNEM***	HAKİR
KEM-4	İSG EĞİTİMLERİ				***EŞİT ÖNEM***

Çizelge 2.14. Elektrik ile temas kazası için KEM önlem grubu nicel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	KEM-1	KEM-2	KEM-3	KEM-4
KEM-1	İSG UZMANI	1,00	5,00	5,00	1,00
KEM-2	İŞ YERİ HEKİMİ	0,20	1,00	3,00	0,33
KEM-3	MUAYENELER	0,20	0,33	1,00	0,20
KEM-4	İSG EĞİTİMLERİ	1,00	3,00	5,00	1,00
∑	TOPLAMLAR	2,40	9,33	14,00	2,53

Çizelge 2.15. Elektrik ile temas kazası için KEM önlem grubu ağırlıklarının elde edilmesi

NO	DONANIM ADI	KEM-1	KEM-2	KEM-3	KEM-4	w
KEM-1	İSG UZMANI	0,42	0,54	0,36	0,39	0,43
KEM-2	İŞ YERİ HEKİMİ	0,08	0,11	0,21	0,13	0,13
KEM-3	MUAYENELER	0,08	0,04	0,07	0,08	0,07
KEM-4	İSG EĞİTİMLERİ	0,42	0,32	0,36	0,39	0,37

EK-2. (devam) Anket sonuçlarının AHP ile analiz edilmesi

Çizelge 2.16. Yüksekten düşme kazası için TKY önlem grubu nitel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	TKY-3	TKY-4	TKY-6	TKY-7	TKY-10	TKY-5	TKY-8
TKY-3	GÜVENLİK HALATI, YAŞAM HATTI SİS.	***EŞİT ÖNEM***	AZ ÜSTÜN	ÜSTÜN	ÇOK ÜSTÜN	ÇOK ÜSTÜN	ÜSTÜN	AZ ÜSTÜN
TKY-4	KORKULUK SİSTEMLERİ		***EŞİT ÖNEM***	AZ ÜSTÜN	ÜSTÜN	AZ ÜSTÜN	AZ ÜSTÜN	EŞİT ÖNEM
TKY-6	GÜVENLİK ALAN PERDESİ			***EŞİT ÖNEM***	ÜSTÜN	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM
TKY-7	İLK YARDIM ÇANTASI, YANGIN TÜPÜ				***EŞİT ÖNEM***	EŞİT ÖNEM	AZ HAKİR	AZ HAKİR
TKY-10	UYARICI VE BİLGİLENDİRİCİ LEVHALAR					***EŞİT ÖNEM***	AZ HAKİR	AZ HAKİR
TKY-5	CEPHE ÖRTÜLERİ						***EŞİT ÖNEM***	EŞİT ÖNEM
TKY-8	DIŞ CEPHE GÜVENLİK AĞI							***EŞİT ÖNEM***

Çizelge 2.17. Yüksekten düşme kazası için TKY önlem grubu nicel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	TKY-3	TKY-4	TKY-6	TKY-7	TKY-10	TKY-5	TKY-8
TKY-3	GÜVENLİK HALATI, YAŞAM HATTI SİS.	1,00	3,00	5,00	7,00	7,00	5,00	3,00
TKY-4	KORKULUK SİSTEMLERİ	0,33	1,00	3,00	5,00	3,00	3,00	1,00
TKY-6	GÜVENLİK ALAN PERDESİ	0,20	0,33	1,00	5,00	1,00	1,00	1,00
TKY-7	İLK YARDIM ÇANTASI, YANGIN TÜPÜ	0,14	0,20	0,20	1,00	1,00	0,33	0,33
TKY-10	UYARICI VE BİLGİLENDİRİCİ LEVHALAR	0,14	0,33	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33
TKY-5	CEPHE ÖRTÜLERİ	0,20	0,33	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00
TKY-8	DIŞ CEPHE GÜVENLİK AĞI	0,33	1,00	1,00	3,00	3,00	1,00	1,00
∑	TOPLAMLAR	2,35	6,20	12,20	25,00	19,00	11,67	7,67

Çizelge 2.18. Yüksekten düşme kazası için TKY önlem grubu ağırlıklarının elde edilmesi

NO	DONANIM ADI	TKY-3	TKY-4	TKY-6	TKY-7	TKY-10	TKY-5	TKY-8	w
TKY-3	GÜVENLİK HALATI, YAŞAM HATTI SİS.	0,43	0,48	0,41	0,28	0,37	0,43	0,39	0,40
TKY-4	KORKULUK SİSTEMLERİ	0,14	0,16	0,25	0,20	0,16	0,26	0,13	0,18
TKY-6	GÜVENLİK ALAN PERDESİ	0,09	0,05	0,08	0,20	0,05	0,09	0,13	0,10
TKY-7	İLK YARDIM ÇANTASI, YANGIN TÜPÜ	0,06	0,03	0,02	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04
TKY-10	UYARICI VE BİLGİLENDİRİCİ LEVHALAR	0,06	0,05	0,08	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05
TKY-5	CEPHE ÖRTÜLERİ	0,09	0,05	0,08	0,12	0,16	0,09	0,13	0,10
TKY-8	DIŞ CEPHE GÜVENLİK AĞI	0,14	0,16	0,08	0,12	0,16	0,09	0,13	0,13

EK-2. (devam) Anket sonuçlarının AHP ile analiz edilmesi

Çizelge 2.19. Yüksekten düşme kazası için KKD önlem grubu nitel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	KKD-1	KKD-2	KKD-3	KKD-4	KKD-5	KKD-6	KKD-7	KKD-8	KKD-9
KKD-1	BARET	***EŞİT ÖNEM***	ÜSTÜN	ÇOK ÜSTÜN	ÜSTÜN	ÜSTÜN	ÇOK ÜSTÜN	HAKİR	ÜSTÜN	ÜSTÜN
KKD-2	KORUYUCU GÖZLÜK		***EŞİT ÖNEM***	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	ÇOK HAKİR	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM
KKD-3	TOZ MASKESİ			***EŞİT ÖNEM***	EŞİT ÖNEM	AZ HAKİR	EŞİT ÖNEM	ÇOK HAKİR	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM
KKD-4	YÜZ SİPERİ				***EŞİT ÖNEM***	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	ÇOK HAKİR	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM
KKD-5	İŞ ELBİSESİ					***EŞİT ÖNEM***	AZ ÜSTÜN	HAKİR	AZ ÜSTÜN	AZ ÜSTÜN
KKD-6	REFLEKTÖR						***EŞİT ÖNEM***	ÇOK HAKİR	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM
KKD-7	PARAŞÜT T. EM. KEMERİ							***EŞİT ÖNEM***	ÇOK ÜSTÜN	ÇOK ÜSTÜN
KKD-8	İŞ AYAKKABISI								***EŞİT ÖNEM***	EŞİT ÖNEM
KKD-9	KORUYUCU ELDİVEN									***EŞİT ÖNEM***

Çizelge 2.20. Yüksekten düşme kazası için KKD önlem grubu nicel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	KKD-1	KKD-2	KKD-3	KKD-4	KKD-5	KKD-6	KKD-7	KKD-8	KKD-9
KKD-1	BARET	1,00	5,00	7,00	5,00	5,00	7,00	0,20	5,00	5,00
KKD-2	KORUYUCU GÖZLÜK	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	1,00	1,00
KKD-3	TOZ MASKESİ	0,14	1,00	1,00	1,00	0,33	1,00	0,14	1,00	1,00
KKD-4	YÜZ SİPERİ	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,14	1,00	1,00
KKD-5	İŞ ELBİSESİ	0,20	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	0,20	3,00	3,00
KKD-6	REFLEKTÖR	0,14	1,00	1,00	1,00	0,33	1,00	0,14	1,00	1,00
KKD-7	PARAŞÜT T. EM. KEMERİ	5,00	7,00	7,00	7,00	5,00	7,00	1,00	7,00	7,00
KKD-8	İŞ AYAKKABISI	0,20	1,00	1,00	1,00	0,33	1,00	0,14	1,00	1,00
KKD-9	KORUYUCU ELDİVEN	0,20	1,00	1,00	1,00	0,33	1,00	0,14	1,00	1,00
∑	TOPLAMLAR	7,29	19,00	23,00	19,00	14,33	23,00	2,26	21,00	21,00

Çizelge 2.21. Yüksekten düşme kazası için KKD önlem grubu ağırlıklarının elde edilmesi

NO	DONANIM ADI	KKD-1	KKD-2	KKD-3	KKD-4	KKD-5	KKD-6	KKD-7	KKD-8	KKD-9	w
KKD-1	BARET	0,14	0,26	0,30	0,26	0,35	0,30	0,09	0,24	0,24	0,24
KKD-2	KORUYUCU GÖZLÜK	0,03	0,05	0,04	0,05	0,07	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05
KKD-3	TOZ MASKESİ	0,02	0,05	0,04	0,05	0,02	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04
KKD-4	YÜZ SİPERİ	0,03	0,05	0,04	0,05	0,07	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05
KKD-5	İŞ ELBİSESİ	0,03	0,05	0,13	0,05	0,07	0,13	0,09	0,14	0,14	0,09
KKD-6	REFLEKTÖR	0,02	0,05	0,04	0,05	0,02	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04
KKD-7	PARAŞÜT T. EM. KEMERİ	0,69	0,37	0,30	0,37	0,35	0,30	0,44	0,33	0,33	0,39
KKD-8	İŞ AYAKKABISI	0,03	0,05	0,04	0,05	0,02	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04
KKD-9	KORUYUCU ELDİVEN	0,03	0,05	0,04	0,05	0,02	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04

EK-2. (devam) Anket sonuçlarının AHP ile analiz edilmesi

Çizelge 2.22. Yüksekten düşme kazası için KEM önlem grubu nitel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	KEM-1	KEM-2	KEM-3	KEM-4
KEM-1	İSG UZMANI	~~EŞİT ÖNEM~~	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	AZ HAKİR
KEM-2	İŞ YERİ HEKİMİ		~~EŞİT ÖNEM~~	EŞİT ÖNEM	AZ HAKİR
KEM-3	MUAYENELER			~~EŞİT ÖNEM~~	AZ HAKİR
KEM-4	İSG EĞİTİMLERİ				~~EŞİT ÖNEM~~

Çizelge 2.23. Yüksekten düşme kazası için KEM önlem grubu nicel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	KEM-1	KEM-2	KEM-3	KEM-4
KEM-1	İSG UZMANI	~~1,00~~	1,00	1,00	0,33
KEM-2	İŞ YERİ HEKİMİ	1,00	~~1,00~~	1,00	0,33
KEM-3	MUAYENELER	1,00	1,00	~~1,00~~	0,33
KEM-4	İSG EĞİTİMLERİ	3,00	3,00	3,00	~~1,00~~
∑	TOPLAMLAR	6,00	6,00	6,00	2,00

Çizelge 2.24. Yüksekten düşme kazası için KEM önlem grubu ağırlıklarının elde edilmesi

NO	DONANIM ADI	KEM-1	KEM-2	KEM-3	KEM-4	w
KEM-1	İSG UZMANI	~~0,17~~	0,17	0,17	0,17	0,17
KEM-2	İŞ YERİ HEKİMİ	0,17	~~0,17~~	0,17	0,17	0,17
KEM-3	MUAYENELER	0,17	0,17	~~0,17~~	0,17	0,17
KEM-4	İSG EĞİTİMLERİ	0,50	0,50	0,50	~~0,50~~	0,50

Çizelge 2.25. Fırlatılan/düşen cisim çarpması kazası için TKY önlem grubu nitel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	TKY-3	TKY-4	TKY-6	TKY-7	TKY-10
TKY-3	GÜVENLİK HALATI, YAŞAM HATTI SİS.	~~EŞİT ÖNEM~~	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	AZ HAKİR	AZ HAKİR
TKY-4	KORKULUK SİSTEMLERİ		~~EŞİT ÖNEM~~	EŞİT ÖNEM	AZ HAKİR	AZ HAKİR
TKY-6	GÜVENLİK ALAN PERDESİ			~~EŞİT ÖNEM~~	AZ HAKİR	AZ HAKİR
TKY-7	İLK YARDIM ÇANTASI, YANGIN TÜPÜ				~~EŞİT ÖNEM~~	AZ ÜSTÜN
TKY-10	UYARICI VE BİLGİLENDİRİCİ LEVHALAR					~~EŞİT ÖNEM~~

EK-2. (devam) Anket sonuçlarının AHP ile analiz edilmesi

Çizelge 2.26. Fırlatılan/düşen cisim çarpması kazası için TKY önlem grubu nicel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	TKY-3	TKY-4	TKY-6	TKY-7	TKY-10
TKY-3	GÜVENLİK HALATI, YAŞAM HATTI SİS.	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33
TKY-4	KORKULUK SİSTEMLERİ	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33
TKY-6	GÜVENLİK ALAN PERDESİ	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33
TKY-7	İLK YARDIM ÇANTASI, YANGIN TÜPÜ	3,00	3,00	3,00	1,00	3,00
TKY-10	UYARICI VE BİLGİLENDİRİCİ LEVHALAR	3,00	3,00	3,00	0,33	1,00
∑	TOPLAMLAR	9,00	9,00	9,00	2,33	5,00

Çizelge 2.27. Fırlatılan/düşen cisim çarpması kazası için TKY önlem grubu ağırlıklarının elde edilmesi

NO	DONANIM ADI	TKY-3	TKY-4	TKY-6	TKY-7	TKY-10	w
TKY-3	GÜVENLİK HALATI, YAŞAM HATTI SİS.	0,11	0,11	0,11	0,14	0,07	0,11
TKY-4	KORKULUK SİSTEMLERİ	0,11	0,11	0,11	0,14	0,07	0,11
TKY-6	GÜVENLİK ALAN PERDESİ	0,11	0,11	0,11	0,14	0,07	0,11
TKY-7	İLK YARDIM ÇANTASI, YANGIN TÜPÜ	0,33	0,33	0,33	0,43	0,60	0,41
TKY-10	UYARICI VE BİLGİLENDİRİCİ LEVHALAR	0,33	0,33	0,33	0,14	0,20	0,27

Çizelge 2.28. Fırlatılan/düşen cisim çarpması kazası için KKD önlem grubu nitel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	KKD-1	KKD-2	KKD-3	KKD-4	KKD-5	KKD-6	KKD-7	KKD-8	KKD-9
KKD-1	BARET	***EŞİT ÖNEM***	AZ ÜSTÜN	ÜSTÜN	AZ ÜSTÜN	AZ ÜSTÜN	AZ ÜSTÜN	EŞİT ÖNEM	AZ ÜSTÜN	AZ ÜSTÜN
KKD-2	KORUYUCU GÖZLÜK		***EŞİT ÖNEM***	AZ ÜSTÜN	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM	AZ HAKİR	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM
KKD-3	TOZ MASKESİ			***EŞİT ÖNEM***	AZ HAKİR	AZ HAKİR	EŞİT ÖNEM	HAKİR	AZ HAKİR	AZ HAKİR
KKD-4	YÜZ SİPERİ				***EŞİT ÖNEM***	EŞİT ÖNEM	AZ ÜSTÜN	AZ HAKİR	EŞİT ÖNEM	EŞİT ÖNEM
KKD-5	İŞ ELBİSESİ					***EŞİT ÖNEM***	AZ ÜSTÜN	AZ HAKİR	EŞİT ÖNEM	AZ ÜSTÜN
KKD-6	REFLEKTÖR						***EŞİT ÖNEM***	HAKİR	AZ HAKİR	EŞİT ÖNEM
KKD-7	PARAŞÜT T. EM. KEMERİ							***EŞİT ÖNEM***	ÜSTÜN	AZ ÜSTÜN
KKD-8	İŞ AYAKKABISI								***EŞİT ÖNEM***	EŞİT ÖNEM
KKD-9	KORUYUCU ELDİVEN									***EŞİT ÖNEM***

EK-2. (devam) Anket sonuçlarının AHP ile analiz edilmesi

Çizelge 2.29. Fırlatılan/düşen cisim çarpması kazası için KKD önlem grubu nicel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	KKD-1	KKD-2	KKD-3	KKD-4	KKD-5	KKD-6	KKD-7	KKD-8	KKD-9
KKD-1	BARET	1,00	3,00	5,00	3,00	3,00	3,00	1,00	3,00	3,00
KKD-2	KORUYUCU GÖZLÜK	0,33	1,00	3,00	1,00	1,00	1,00	0,33	1,00	1,00
KKD-3	TOZ MASKESİ	0,20	0,33	1,00	0,33	0,33	1,00	0,20	0,33	0,33
KKD-4	YÜZ SİPERİ	0,33	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	0,33	1,00	1,00
KKD-5	İŞ ELBİSESİ	0,33	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	0,33	1,00	3,00
KKD-6	REFLEKTÖR	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33	1,00	0,20	0,33	1,00
KKD-7	PARAŞÜT T. EM. KEMERİ	1,00	3,00	5,00	3,00	3,00	5,00	1,00	5,00	3,00
KKD-8	İŞ AYAKKABISI	0,33	1,00	3,00	1,00	1,00	3,00	0,20	1,00	1,00
KKD-9	KORUYUCU ELDİVEN	0,33	1,00	3,00	1,00	0,33	1,00	0,33	1,00	1,00
∑	TOPLAMLAR	4,20	12,33	27,00	11,67	11,00	21,00	3,93	13,67	14,33

Çizelge 2.30. Fırlatılan/düşen cisim çarpması kazası için KKD önlem grubu ağırlıklarının elde edilmesi

NO	DONANIM ADI	KKD-1	KKD-2	KKD-3	KKD-4	KKD-5	KKD-6	KKD-7	KKD-8	KKD-9	w
KKD-1	BARET	0,24	0,24	0,19	0,26	0,27	0,14	0,25	0,22	0,21	0,22
KKD-2	KORUYUCU GÖZLÜK	0,08	0,08	0,11	0,09	0,09	0,05	0,08	0,07	0,07	0,08
KKD-3	TOZ MASKESİ	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,05	0,05	0,02	0,02	0,04
KKD-4	YÜZ SİPERİ	0,08	0,08	0,11	0,09	0,09	0,14	0,08	0,07	0,07	0,09
KKD-5	İŞ ELBİSESİ	0,08	0,08	0,11	0,09	0,09	0,14	0,08	0,07	0,21	0,11
KKD-6	REFLEKTÖR	0,08	0,08	0,04	0,03	0,03	0,05	0,05	0,02	0,07	0,05
KKD-7	PARAŞÜT T. EM. KEMERİ	0,24	0,24	0,19	0,26	0,27	0,24	0,25	0,37	0,21	0,25
KKD-8	İŞ AYAKKABISI	0,08	0,08	0,11	0,09	0,09	0,14	0,05	0,07	0,07	0,09
KKD-9	KORUYUCU ELDİVEN	0,08	0,08	0,11	0,09	0,03	0,05	0,08	0,07	0,07	0,07

Çizelge 2.31. Fırlatılan/düşen cisim çarpması kazası için KEM önlem grubu nitel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	KEM-1	KEM-2	KEM-3	KEM-4
KEM-1	İSG UZMANI	***EŞİT ÖNEM***	AZ ÜSTÜN	ÜSTÜN	EŞİT ÖNEM
KEM-2	İŞ YERİ HEKİMİ		***EŞİT ÖNEM***	AZ ÜSTÜN	AZ HAKİR
KEM-3	MUAYENELER			***EŞİT ÖNEM***	AZ HAKİR
KEM-4	İSG EĞİTİMLERİ				***EŞİT ÖNEM***

Çizelge 2.32. Fırlatılan/düşen cisim çarpması kazası için KEM önlem grubu nicel karşılaştırma matrisi

NO	DONANIM ADI	KEM-1	KEM-2	KEM-3	KEM-4
KEM-1	İSG UZMANI	1,00	3,00	5,00	1,00
KEM-2	İŞ YERİ HEKİMİ	0,33	1,00	3,00	0,33
KEM-3	MUAYENELER	0,20	0,33	1,00	0,33
KEM-4	İSG EĞİTİMLERİ	1,00	3,00	3,00	1,00
∑	TOPLAMLAR	2,53	7,33	12,00	2,67

EK-2. (devam) Anket sonuçlarının AHP ile analiz edilmesi

Çizelge 2.33. Fırlatılan/düşen cisim çarpması kazası için KEM önlem grubu ağırlıklarının elde edilmesi

NO	DONANIM ADI	KEM-1	KEM-2	KEM-3	KEM-4	w
KEM-1	İSG UZMANI	0,39	0,41	0,42	0,38	0,40
KEM-2	İŞ YERİ HEKİMİ	0,13	0,14	0,25	0,13	0,16
KEM-3	MUAYENELER	0,08	0,05	0,08	0,13	0,08
KEM-4	İSG EĞİTİMLERİ	0,39	0,41	0,25	0,38	0,36

EK-3. Kazalara ilişkin YSA analiz sonuçları

Parabolik aktivasyon fonksiyonlu ön bilgilendirilmiş YSA sonuçları

Çizelge 3.1. Donatı işlerinde elektrik ile temas eğitim verisi analiz sonuçları

KAZA NO	TKY	KEM	KKD	W_{TKY}	W_{KEM}	W_{KKD}	RS_{TKY}	RS_{KEM}	RS_{KKD}	RS	NETICE	TAHMİN
KAZA:1	0,12	0,20	0,22	8,80	7,99	7,82	26,5	18,9	54,4	**99,8**	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:2	0,23	0,20	0,29	7,72	7,99	7,06	23,5	18,9	48,2	**90,6**	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:3	0,11	0,51	0,27	8,93	4,93	7,29	26,9	12,3	50,1	**89,3**	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:4	0,00	0,20	0,27	10,00	7,99	7,28	29,9	18,9	50,0	**98,8**	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:5	0,12	0,20	0,49	8,80	7,99	5,08	26,5	18,9	33,1	**78,5**	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:6	0,23	0,44	0,32	7,72	5,60	6,80	23,5	13,8	46,2	**83,4**	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:7	0,00	0,44	0,29	10,00	5,60	7,06	29,9	13,8	48,2	**91,8**	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:8	0,36	0,51	0,36	6,39	4,93	6,40	19,7	12,3	43,0	**75,0**	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:9	0,53	0,57	0,58	4,68	4,26	4,21	14,9	10,9	27,0	**52,7**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:10	0,23	0,51	0,45	7,72	4,93	5,47	23,5	12,3	35,9	**71,7**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:11	0,47	0,44	0,39	5,32	5,60	6,06	16,7	13,8	40,4	**70,8**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:12	0,53	0,51	0,49	4,68	4,93	5,08	14,9	12,3	33,1	**60,3**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:13	0,41	0,57	0,52	5,89	4,26	4,77	18,3	10,9	30,8	**60,0**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:14	0,53	0,57	0,52	4,68	4,26	4,77	14,9	10,9	30,8	**56,6**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:15	0,23	0,57	0,49	7,72	4,26	5,08	23,5	10,9	33,1	**67,4**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:16	0,47	0,51	0,52	5,32	4,93	4,79	16,7	12,3	31,0	**60,0**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:17	0,89	0,56	0,59	1,07	4,40	4,06	4,7	11,2	25,9	**41,7**	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:18	0,59	0,80	0,63	4,11	2,01	3,65	13,3	6,0	23,2	**42,5**	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:19	0,77	0,87	0,54	2,28	1,34	4,64	8,1	4,5	29,9	**42,5**	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:20	0,53	0,80	0,67	4,68	2,01	3,25	14,9	6,0	20,6	**41,4**	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:21	0,89	0,63	0,62	1,07	3,72	3,84	4,7	9,7	24,5	**38,8**	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:22	0,59	0,57	0,60	4,11	4,26	4,05	13,3	10,9	25,8	**49,9**	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:23	0,88	0,63	0,86	1,20	3,72	1,37	5,0	9,7	9,1	**23,8**	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:24	1,00	0,56	0,90	0,00	4,40	1,00	1,6	11,2	7,0	**19,8**	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:25	0,88	0,63	0,86	1,20	3,72	1,39	5,0	9,7	9,2	**23,9**	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:26	0,64	0,87	1,00	3,61	1,34	0,00	11,9	4,5	1,6	**18,0**	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:27	1,00	0,49	0,90	0,00	5,07	0,98	1,6	12,6	6,9	**21,1**	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:28	0,88	1,00	0,92	1,20	0,00	0,76	5,0	1,6	5,7	**12,3**	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:29	0,88	0,87	0,87	1,20	1,34	1,26	5,0	4,5	8,4	**18,0**	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:30	1,00	0,80	0,91	0,00	2,01	0,86	1,6	6,0	6,2	**13,9**	SIYRIK	SIYRIK

Çizelge 3.2. Donatı işlerinde elektrik ile temas doğrulama verisi analiz sonuçları

KAZA NO	TKY	KEM	KKD	W_{TKY}	W_{KEM}	W_{KKD}	RS_{TKY}	RS_{KEM}	RS_{KKD}	RS	NETICE	TAHMİN
KAZA:1	0,77	0,42	0,93	2,28	5,77	0,67	8,1	14,1	5,2	27,4	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:2	1,00	0,66	0,63	0,00	3,39	3,72	1,6	9,0	23,7	34,3	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:3	1,00	0,40	1,00	0,00	6,01	0,00	1,6	14,6	1,6	17,9	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:4	0,89	0,49	0,37	1,07	5,06	6,28	4,7	12,6	42,0	59,3	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:5	0,89	0,30	0,43	1,07	6,99	5,74	4,7	16,8	37,9	59,4	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.

EK-3. (devam) Kazalara ilişkin YSA analiz sonuçları

Çizelge 3.3. Fırlatılan/düşen cisim çarpması eğitim verisi analiz sonuçları

KAZA NO	TKY	KEM	KKD	W_{TKY}	W_{KEM}	W_{KKD}	RS_{TKY}	RS_{KEM}	RS_{KKD}	RS	NETICE	TAHMİN
KAZA:1	0,38	0,24	0,19	6,23	7,56	8,13	17,8	21,2	48,7	**0,38**	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:2	0,22	0,08	0,22	7,83	9,17	7,83	25,9	28,6	45,4	**0,22**	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:3	0,11	0,60	0,20	8,91	3,99	7,96	32,3	8,5	46,8	**0,11**	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:4	0,27	0,00	0,24	7,31	10,00	7,59	23,1	32,9	43,0	**0,27**	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:5	0,22	0,56	0,16	7,83	4,40	8,39	25,9	9,7	51,5	**0,22**	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:6	0,22	0,08	0,26	7,83	9,17	7,40	25,9	28,6	41,1	**0,22**	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:7	0,51	0,52	0,42	4,86	4,82	5,84	12,0	11,0	27,0	**0,51**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:8	0,38	0,44	0,33	6,23	5,60	6,68	17,8	13,6	34,2	**0,38**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:9	0,49	0,60	0,40	5,14	3,99	6,03	13,1	8,5	28,6	**0,49**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:10	0,33	0,44	0,49	6,74	5,60	5,08	20,2	13,6	21,2	**0,33**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:11	0,59	0,44	0,39	4,06	5,60	6,08	9,1	13,6	29,0	**0,59**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:12	0,51	0,36	0,44	4,86	6,43	5,65	12,0	16,6	25,5	**0,51**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:13	0,33	0,44	0,31	6,74	5,60	6,92	20,2	13,6	36,4	**0,33**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:14	0,49	0,52	0,38	5,14	4,82	6,22	13,1	11,0	30,2	**0,49**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:15	0,22	0,44	0,37	7,83	5,60	6,30	25,9	13,6	30,9	**0,22**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:16	0,38	0,60	0,46	6,23	3,99	5,42	17,8	8,5	23,7	**0,38**	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:17	0,62	0,56	0,72	3,77	4,40	2,80	8,2	9,7	8,1	**0,62**	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:18	0,22	0,64	0,65	7,83	3,57	3,47	25,9	7,4	11,3	**0,22**	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:19	0,89	0,48	0,62	1,09	5,18	3,78	1,8	12,2	13,0	**0,89**	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:20	0,89	0,48	0,64	1,09	5,18	3,58	1,8	12,2	11,9	**0,89**	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:21	0,22	0,56	0,73	7,83	4,40	2,75	25,9	9,7	7,8	**0,22**	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:22	0,49	0,64	0,69	5,14	3,57	3,05	13,1	7,4	9,2	**0,49**	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:23	1,00	0,92	1,00	0,00	0,83	0,00	0,5	1,6	0,5	**1,00**	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:24	0,73	0,76	0,91	2,69	2,44	0,87	5,1	4,6	1,8	**0,73**	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:25	0,73	0,92	0,75	2,69	0,83	2,52	5,1	1,6	6,9	**0,73**	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:26	1,00	0,84	0,71	0,00	1,61	2,87	0,5	2,9	8,4	**1,00**	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:27	0,73	1,00	0,83	2,69	0,00	1,72	5,1	0,5	4,0	**0,73**	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:28	0,59	0,92	0,89	4,06	0,83	1,06	9,1	1,6	2,3	**0,59**	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:29	0,89	0,84	0,96	1,09	1,61	0,35	1,8	2,9	0,9	**0,89**	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:30	1,00	1,00	0,67	0,00	0,00	3,32	0,5	0,5	10,5	**1,00**	SIYRIK	SIYRIK

Çizelge 3.4. Fırlatılan/düşen cisim çarpması doğrulama verisi analiz sonuçları

KAZA NO	TKY	KEM	KKD	W_{TKY}	W_{KEM}	W_{KKD}	RS_{TKY}	RS_{KEM}	RS_{KKD}	RS	NETICE	TAHMİN
KAZA:1	0,22	0,22	0,40	7,83	7,78	6,01	25,9	22,2	28,4	76,5	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:2	0,33	0,86	0,92	6,74	1,41	0,83	20,2	2,6	1,7	24,5	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:3	0,49	0,56	0,48	5,14	4,42	5,18	13,1	9,8	22,0	44,8	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:4	0,22	0,46	1,00	7,83	5,43	0,00	25,9	13,0	0,5	39,4	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:5	0,49	0,40	0,48	5,14	6,04	5,18	13,1	15,2	22,0	50,2	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.

EK-3. (devam) Kazalara ilişkin YSA analiz sonuçları

Çizelge 3.5. Yüksekte düşme eğitim verisi analiz sonuçları

KAZA NO	TKY	KEM	KKD	W_{TKY}	W_{KEM}	W_{KKD}	RS_{TKY}	RS_{KEM}	RS_{KKD}	RS	NETICE	TAHMİN
KAZA:1	0,28	0,17	0,19	7,24	8,33	8,13	31,2	18,6	38,8	88,6	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:2	0,24	0,17	0,18	7,63	8,33	8,18	33,1	18,6	39,1	90,8	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:3	0,19	0,33	0,23	8,07	6,67	7,74	35,2	15,2	36,5	86,8	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:4	0,29	0,17	0,00	7,09	8,33	10,00	30,5	18,6	50,5	99,6	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:5	0,24	0,33	0,23	7,63	6,67	7,74	33,1	15,2	36,5	84,7	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:6	0,28	0,33	0,14	7,24	6,67	8,57	31,2	15,2	41,5	87,9	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:7	0,22	0,17	0,14	7,76	8,33	8,61	33,7	18,6	41,7	94,0	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:8	0,20	0,33	0,18	7,99	6,67	8,18	34,8	15,2	39,1	89,1	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:9	0,14	0,17	0,14	8,62	8,33	8,63	37,8	18,6	41,8	98,3	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:10	0,14	0,33	0,29	8,59	6,67	7,13	37,7	15,2	33,0	85,8	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:11	0,15	0,33	0,14	8,50	6,67	8,62	37,2	15,2	41,7	94,2	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:12	0,22	0,33	0,14	7,76	6,67	8,62	33,7	15,2	41,7	90,6	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:13	0,24	0,17	0,18	7,63	8,33	8,18	33,1	18,6	39,1	90,8	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:14	0,15	0,17	0,18	8,46	8,33	8,18	37,1	18,6	39,1	94,8	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:15	0,40	0,33	0,47	5,99	6,67	5,26	25,5	15,2	23,1	63,7	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:16	0,40	0,33	0,43	6,02	6,67	5,74	25,6	15,2	25,5	66,3	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:17	0,29	0,50	0,43	7,09	5,00	5,70	30,5	11,8	25,3	67,5	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:18	0,36	0,33	0,51	6,38	6,67	4,87	27,2	15,2	21,2	63,6	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:19	0,28	0,83	0,48	7,24	1,67	5,19	31,2	4,9	22,7	58,9	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:20	0,31	0,83	0,43	6,85	1,67	5,70	29,4	4,9	25,3	59,6	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:21	0,37	0,83	0,42	6,26	1,67	5,76	26,7	4,9	25,6	57,2	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:22	0,54	0,83	0,43	4,64	1,67	5,74	19,6	4,9	25,5	50,0	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:23	0,67	0,33	0,71	3,26	6,67	2,93	13,8	15,2	12,3	41,4	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:24	0,68	0,67	0,76	3,18	3,33	2,43	13,5	8,3	10,3	32,1	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:25	0,75	0,33	0,61	2,52	6,67	3,88	10,9	15,2	16,5	42,6	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:26	0,65	0,67	0,73	3,50	3,33	2,75	14,8	8,3	11,6	34,7	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.
KAZA:27	0,96	1,00	0,96	0,39	0,00	0,44	2,9	1,5	2,9	7,2	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:28	0,95	1,00	0,96	0,52	0,00	0,45	3,3	1,5	2,9	7,7	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:29	0,76	0,83	0,95	2,37	1,67	0,50	10,3	4,9	3,1	18,3	SIYRIK	SIYRIK
KAZA:30	0,91	0,83	1,00	0,91	1,67	0,00	4,7	4,9	1,5	11,1	SIYRIK	SIYRIK

Çizelge 3.6. Yüksekte düşme doğrulama verisi analiz sonuçları

KAZA NO	TKY	KEM	KKD	W_{TKY}	W_{KEM}	W_{KKD}	RS_{TKY}	RS_{KEM}	RS_{KKD}	RS	NETICE	TAHMİN
KAZA:1	0,58	0,17	0,14	4,17	8,33	8,62	17,6	18,6	41,8	77,9	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:2	0,59	1,00	0,23	4,13	0,00	7,68	17,4	1,5	36,1	55,0	AĞIR YAR.	AĞIR YAR.
KAZA:3	0,15	0,83	0,27	8,50	1,67	7,25	37,2	4,9	33,7	75,8	ÖLÜM	ÖLÜM
KAZA:4	0,09	0,17	0,38	9,09	8,33	6,19	40,2	18,6	27,9	86,7	AĞIR YAR	ÖLÜM
KAZA:5	0,398	1,000	1,000	6,02	0,00	0,00	25,6	1,5	1,5	28,5	HAFİF YAR.	HAFİF YAR.



GAZİ GELECEKTİR...