



**METAL SEKTÖRÜNDE RİSKLERİN DERECELENDİRMESİ VE
DENETİM KARAR DESTEK SİSTEMİ**

Cemal Can AYANOĞLU

**DOKTORA TEZİ
KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2019

Cemal Can AYANOĞLU tarafından hazırlanan “METAL SEKTÖRÜNDE RİSKLERİN DERECELENDİRMESİ VE DENETİM KARAR DESTEK SİSTEMİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mustafa KURT

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.



Başkan: Prof. Dr. Adnan SÖZEN

Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Prof. Dr. Mustafa Necmi İLHAN

Halk Sağlığı Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

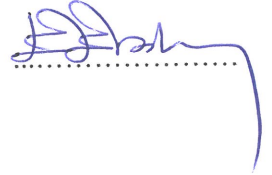
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Prof. Dr. Ergün ERASLAN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.



Üye: Prof. Dr. İhsan YÜKSEL

Yönetim ve Organizasyon Ana Bilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 06/02/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

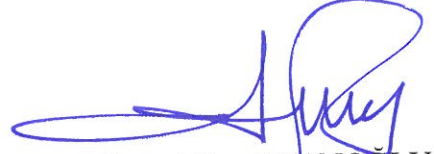
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

- 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 çalışmada 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.



Cemal Can AYANOĞLU
06/02/2019

METAL SEKTÖRÜNDE RİSKLERİN DERECELENDİRMESİ VE DENETİM KARAR DESTEK SİSTEMİ

(Doktora Tezi)

Cemal Can AYANOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2019

ÖZET

Günümüz işletmelerinde gerçekleştirilen iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarının temelinde, tehlikelerin belirlenmesi ve ortaya çıkabilecek risklerle ilgili önleyici tedbirlerin alınması yer almaktadır. Bu nedenle, risklerin etkin yöntemlerle derecelendirilmesi, tedbirlerin alınmasında önceliklerin belirlenmesi için temel bir gereklilik haline gelmiştir. Ülkemiz ekonomisinin temel yapıtaşlarından birisini oluşturan metal sektöründe, önemsenmeyen risklerden kaynaklı ciddi iş kazaları görülebilmektedir. Metal sektörü işyerlerinde mevcut olan tehlikeli durumlar değerlendirilerek, etkin yöntemlerle risklerin derecelendirilebilmesi önemli bir kazanım olacaktır. Bu tez çalışmasının amacı, metal sektörü için öngörülemeyen risklerin belirlenmesini sağlayacak objektif ölçütlere dayalı bir risk derecelendirme yönteminin geliştirilmesi ve kaynakların verimli şekilde kullanılmasını sağlayacak bir denetim karar destek sisteminin ortaya çıkarılmasıdır. Bu kapsamda, metal sektöründe meydana gelen iş kazalarına ait raporlar değerlendirilerek kaza verileri hazırlanmış, veriler üzerinde çok değişkenli istatistiksel yöntemler ile çeşitli indirgeme ve çıkarımlar yapılarak 192 kaza olayı ve 39 değişkenin bulunduğu nihai veri kümesi elde edilmiştir. Ardından, veri kümesinde en iyi performansı gösteren makine öğrenim algoritması olan yapay sinir ağları temelinde bir kaza tahmin modeli oluşturulmuştur. Modelin yapılan analizinde %90 seviyesinde doğru tahmin yaptığı saptanmıştır. Sonrasında tahmin modeli, Fine Kinney yöntemi ile bütünleştirilerek objektif ölçütlere sahip kantitatif bir risk derecelendirme yöntemi oluşturulmuştur. Bununla birlikte, tahmin modeli temelinde denetim karar destek sistemi önerisi yapılmıştır. Son olarak geliştirilen yöntemler, örnek işyeri verilerinde denenmiş, çalışmanın amaçlarını destekleyici sonuçlar elde edilmiştir.

Bilim Kodu : 90603
Anahtar Kelimeler : İş sağlığı ve güvenliği, iş kazaları, yapay sinir ağları, kantitatif risk değerlendirmesi yöntemleri
Sayfa Adedi : 152
Danışman : Prof. Dr. Mustafa KURT

EVALUATION OF THE RISKS IN METAL SECTOR AND
INSPECTION DECISION SUPPORT SYSTEM

(Ph.D. Thesis)

Cemal Can AYANOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2019

ABSTRACT

Occupational health and safety studies performed at modern-day workplaces are based on the identification of hazards and taking preventive measures with regard to the risks which may occur. Therefore, evaluation of the risks with effective methods has become as a necessary requirement in order to identify the priorities for taking measures. In metal sector, which is one of the basic constituents of our economy, serious occupational accidents may be observed due to the unforeseen risks. Thus, assessment of hazards at metal sector workplaces and evaluation of the risks by the effective methods will be an important achievement. The purpose of this thesis is to develop a risk evaluation method based on objective criteria that would be able to determine overlooked risks for metal sector and to emerge inspection decision support system that will enable the efficient usage of the resources. In this context, by evaluation of the reports of occupational accidents occurred at metal sector workplaces, an accident data has been prepared. After applying reductions and inferences over data through multivariate statistical analysis methods, the final data set has been obtained with 192 accident instances and 39 variables. Subsequently, in the basis of the artificial neural networks with machine learning algorithm, which shows the best performance in the data set, accident prediction model has been created. Analysis of the model has showed an accuracy of 90%. Afterwards, forecasting model has been integrated with Fine Kinney method in order to create the quantitative risk evaluation procedure with objective decision criteria. Also, inspection decision support system has been offered in the basis of the developed forecasting model. Finally, developed methods have been applied at sample workplace data. The results obtained from application support the purposes of the study.

Science Code : 90603

Key Words : Occupational health and safety, occupational accidents, artificial neural networks, quantitative risk assessment methods

Page Number : 152

Supervisor : Prof. Dr. Mustafa KURT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, faydalı tecrübelerinden her zaman faydalandığım Sayın Prof. Dr. Mustafa KURT'a, ayrıca tez çalışması süresince katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Adnan SÖZEN ile Sayın Prof. Dr. Ergün ERASLAN'a, manevi desteklerinin yanında, çalışmalarım sırasında beni cesaretlendiren ve yardımlarını esirgemeyen eşim Elma AYANOĞLU ile oğlum Bora AYANOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR TARAMASI.....	5
2.1. Metal Sektörüne İlişkin Bilgiler.....	5
2.2. İş Kazası Kavramı.....	8
2.3. Metal Sektörü İş Kazası İstatistikleri	9
2.4. İş Kazalarının İncelenmesi	11
2.5. Risklerin Derecelendirilmesi.....	13
2.5.1. Tehlike, risk, kabul edilebilir risk seviyesi ve risk değerlendirme kavramları	13
2.5.2. Yasal mevzuat	14
2.5.3. Risk analizi ve değerlendirme tekniklerine genel bir bakış.....	15
2.5.4. Fine Kinney yöntemi ve objektif kriterlere dayalı risk derecelendirmesi	19
2.5.5. Fine Kinney yöntemi uygulamalarına yönelik literatür araştırması.....	22
2.6. Veri Madenciliği, Makine Öğrenmesi ve Kaza Tahmin Modelleri	24
2.6.1. Veri madenciliği ve makine öğrenmesi.....	24
2.6.2. Yapay sinir ağları	26

	Sayfa
2.6.3. Kaza tahmin modelleri.....	31
2.6.4. Veri madenciliği, makine öğrenmesine dayalı kaza analizleri ve kaza tahmin modelleri uygulamalarına yönelik literatür araştırması	33
3. METOT.....	37
3.1. Kaza Verilerinin Tanımlanması	37
3.2. Kaza Verilerinin İncelenmesi	43
3.2.1. Temel bileşenler analizi.....	43
3.2.2. Aykırı veri analizi	45
3.2.3. Faktör analizi.....	46
3.2.4. Kümeleme analizi	48
3.3 Kaza Tahmin Modelinde Kullanılacak Makine Öğrenim Algoritmasının Belirlenmesi	50
3.4. Yapay Sinir Ağları Temelinde Kaza Tahmin Modelinin Tanımlanması.....	52
3.5. Metal Sektörü Risk Derecelendirme Modelinin Tanımlanması.....	60
3.6. Metal Sektörü Denetim Karar Destek Sisteminin Tanımlanması	68
4. BULGULAR, DEĞERLENDİRME VE ÖRNEK UYGULAMA	73
4.1. Kaza Tahmin Modeline İlişkin Bulgular ve Değerlendirme	73
4.2. Risk Derecelendirme Modeline İlişkin Örnek Uygulama ve Değerlendirme	76
4.2.1. Örnek metal sektörü işletmesi hakkında bilgiler	76
4.2.2. Çalışma adımlarında mevcut tehlikelerin belirlenmesi	77
4.2.3. Olası kaza şiddetinin belirlenmesi	80
4.2.4. Risklerin derecelendirmesi	81
4.3. Denetim Karar Destek Sistemine İlişkin Örnek Uygulama ve Değerlendirme	84
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR	95

	Sayfa
EKLER.....	101
EK-1 Kaza veri tablosu	102
EK-2 Düzenlenmiş kaza veri tablosu	103
EK-3 WEKA Kaza verileri girdisi (ARFF formatı).....	104
EK-4 WEKA Karar ağacı veri performans analizi.....	113
EK-5 WEKA Makine öğrenim algoritmaları analizi çıktı raporu	116
EK-6 MATLAB kaza veri tablosu girdisi.....	121
EK-7 Kaza tahmin modeli MATLAB fonksiyonu	122
EK-8 Deneme verileri tablosu	135
EK-9 MATLAB DKDS Kaza veri tablosu girdisi.....	136
EK-10 Denetim karar destek sistemi MATLAB fonksiyonu	137
EK-11 DKDS Deneme verileri tablosu.....	149
ÖZGEÇMİŞ	150
DİZİN	151

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Ana metal sektörü NACE rev.2 sınıflandırması.....	7
Çizelge 2.2. Fabrikasyon metal sektörü NACE rev.2 sınıflandırması.....	7
Çizelge 2.3. Sektörlere göre iş kazası sayıları ve oranları.....	10
Çizelge 2.4. Sektörlere göre ölümle sonuçlanan iş kazası sayılarının ve oranları.....	10
Çizelge 2.5. Fine Kinney yöntemi olasılık skalası.....	20
Çizelge 2.6. Fine Kinney yöntemi sıklık/frekans skalası.....	20
Çizelge 2.7. Fine Kinney yöntemi etki değeri skalası.....	21
Çizelge 2.8. Fine Kinney yöntemi risk skoru skalası.....	21
Çizelge 2.9. Farklı kaza tahmin metotlarının/modellerinin kıyaslanması.....	32
Çizelge 3.1. Temel bileşenler analizi korelasyon matrisi özdeğer analizi.....	44
Çizelge 3.2. Faktör analizi oransal varyans (<i>communality</i>).....	47
Çizelge 3.3. WEKA karar ağacı analizi özet raporu.....	51
Çizelge 3.4. WEKA ile çalışılan tahmin modellerine göre başarı oranları (%80 öğrenme, %20 analiz).....	52
Çizelge 3.5. Kaza tahmin modeli yapay sinir ağı performans sonuçları.....	57
Çizelge 3.6. Kaza tahmin modeli sonuçları ile veri sonuçlarının kıyaslaması.....	59
Çizelge 3.7. Kazaya neden olan noksanlıkların iki yıllık dönem içerisinde görülme sayısı.....	63
Çizelge 3.8. Kazaya neden olan noksanlıkların (tehlikelerin) meydana gelme olasılığı.....	64
Çizelge 3.9. FKY olasılık değeri dönüşüm tablosu.....	65
Çizelge 3.10. Kazaya neden olan noksanlıkların (tehlikelerin) yıllık görülme Frekansı.....	66
Çizelge 3.11. FKY frekans/sıklık değeri dönüşüm tablosu.....	66
Çizelge 3.12. FKY etki değeri dönüşüm tablosu.....	67

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.13. DKDS Yapay sinir ağı performans sonuçları.....	71
Çizelge 3.14. DKDS YSA tahmin sonuçları ile veri kaza sonuçlarının kıyaslaması.....	72
Çizelge 4.1. Kaza tahmin modeli duyarlılık analizi.....	76
Çizelge 4.2. Örnek uygulama olası kaza şiddetleri FKY etki değeri dönüşümü.....	82
Çizelge 4.3. Örnek uygulama kaza verileri ve kaza tahmin modeli değerleri.....	83
Çizelge 4.4. Örnek uygulama risklerin derecelendirmesi (FKY puanlaması).....	83
Çizelge 4.5. Örnek uygulama tehlikelere ilişkin risklerin derecelendirmesi.....	84
Çizelge 4.6. DKDS örnek uygulama sonuçları.....	88

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Temel iş sağlığı ve güvenliği risk analizi ve değerlendirmesi metodolojileri.....	15
Şekil 2.2. Yapay sinir ağı perceptron işlevi	28
Şekil 2.3. Perceptron örnek uzayı	28
Şekil 2.4. İki girdi düğümü, iki gizli katmanı ve bir çıktı düğümüne sahip çoklu perceptron	29
Şekil 2.5. Hopfield yapay sinir ağı.....	31
Şekil 3.1. Kaza verileri yamaç eğrisi	45
Şekil 3.2. Aykırı veri grafiği	46
Şekil 3.3. Örnek bir artırılmış kümeleme ağacı.....	49
Şekil 3.4. Kaza verileri değişkenleri kümeleme analizi dendrogram grafiği.....	49
Şekil 3.5. Matlab r2018b “nprtool” yapay sinir ağı örüntü tanıma fonksiyonu uygulaması arayüzü	54
Şekil 3.6. Matlab R2018b “nprtool” yapay sinir ağı uygulaması veri seçim ekranı.....	55
Şekil 3.7. Matlab R2018b “nprtool” doğrulama ve test veri yüzdeleri giriş ekranı.....	55
Şekil 3.8. Matlab R2018b “nprtool” nöron sayısı giriş ekranı.....	56
Şekil 3.9. Matlab R2018b “nprtool” ağ öğrenme performans sonuçları.....	57
Şekil 3.10. Kaza tahmin modeli yapay sinir ağı	58
Şekil 3.11. Kaza tahmin modeli deneme verileri çıktısı	59
Şekil 3.12. Metal sektörü risk derecelendirme modeli (MSRDM).....	61
Şekil 3.13. Denetim karar destek sistemi (DKDS) akış şeması.....	70
Şekil 3.14. DKDS YSA deneme verileri tahin sonucu	72
Şekil 4.1. Eksantrik preste çalışma örneği	74
Şekil 4.2. Eksantrik preste çalışma kaza tahmin modeli çıktısı	74

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. Örnek uygulama 1 (eksantrik preste çalışma)	78
Şekil 4.4. Örnek uygulama 2 (kimyasal malzeme deposu).....	78
Şekil 4.5. Örnek uygulama 3 (cnc plazmada çalışma).....	79
Şekil 4.6. Örnek uygulama 4 (sütunlu matkapta çalışma)	79
Şekil 4.7. Örnek uygulama 5 (boyahane).....	80
Şekil 4.8. Örnek uygulama kaza tahmin modeli çıktısı	81
Şekil 4.9. Örnek işyeri DKDS çıktısı.....	85
Şekil 4.10. Örnek işyeri DKDS çıktısı (dikkat ve özen eksikliği tehlikesinin bulunmaması durumu)	86
Şekil 4.11. Örnek işyeri DKDS çıktısı (işveren işletme tarafından işyerinde iş sağlığı ve güvenliği bakımından yeterli düzeyde gözetim ve denetim sağlanmamaktadır tehlikesinin bulunmaması durumu)	86
Şekil 4.12. Örnek işyeri DKDS çıktısı (insan hatasının bertaraf edilmiş olması durumu)	87

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Kısaltmalar

Açıklamalar

ARFF	Veri dosyası (Attribute Relationship File Format)
DKDS	Denetim karar destek sistemi
FKY	Fine Kinney yöntemi
ILO	Uluslararası Çalışma Örgütü
İSG	İş sağlığı ve güvenliği
KKD	Kişisel koruyucu donanım
MATLAB	Matrix lab
MSRDM	Metal sektörü risk derecelendirme modeli
NACE	Ekonomik faaliyetlerin istatistiki sınıflaması
ORD	Oransal risk değerlendirmesi
RAD	Risk analizi ve değerlendirmesi
SGK	Sosyal Güvenlik Kurumu
SPSS	Statistical package for the social sciences
TBA	Temel bileşenler analizi
WEKA	Waikato environment for knowledge analysis
YSA	Yapay sinir ağları

1. GİRİŞ

İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG), genel olarak işyerlerinden kaynaklanabilecek ve çalışanların sağlık ve bütünlüğünü etkileyebilecek tehlikelerin tanınmasını, değerlendirilmesini ve kontrolünü araştıran bir bilimdir. İSG'nin etkinliğinin bu yönlü geniş olması, bünyesinde geniş bir meslekli disiplini ve birçok farklı sektörde mevcut olan işyeri ve çevreye ait tehlikeleri kapsamaktadır. İSG, değişen sosyal, ekonomik ve teknolojik şartlardan dolayı sürekli olarak kapsamını genişletmeye devam etmektedir (Alli, 2008:7). Ülkemizde yürürlükte bulunan 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu¹, bu konunun altını çizmiş, sağlık ve güvenlik tedbirlerinin değişen şartlara uygun hale getirilmesini işverenin temel yükümlülükleri arasında kabul etmiştir.

Günümüzde artan tüketici ihtiyaç ve talepleri, bir taraftan üretim miktar ve çeşitliğinin artırılmasını gerektirirken bir taraftan da rekabet koşullarının değişimini beraberinde getirmektedir. Bu durum işletmelerdeki koşulların sürekli değişmesine neden olmaktadır ve yeni üretim teknolojilerin kullanımını gerektirmektedir. Gelişen teknoloji ve değişen koşullar karşısında işletmelerde yürütülen İSG çalışmaları devamlı surette artmaya devam etmesine rağmen, temel İSG problemleri ile beraberinde getirdiği iş kazası ve meslek hastalıkları günümüz işletmelerinde yoğun bir şekilde görülmeye devam etmektedir.

Metal sektörü, dünyada ve Türkiye'de birçok alana nihai mamul, farklı sektörlerle de önemli yarı mamuller sağlayan, ekonomide önemli bir paya sahip temel bir sektördür. Sektörde faaliyet gösteren işletmeler, değişen koşullara maruz kalan işletmelerin başında gelmektedir. Bu durum sektörde meydana gelen iş kazalarının diğer sektörlerle göre sayı ve oransal olarak daha fazla olmasına neden olmaktadır. Ayrıca sektörde yer alan işletmelerde bulunan ve önemseyen çeşitli tehlikeler nedeniyle, önemli riskler ortaya çıkmakta, önleyici tedbirlerin alınmaması durumunda da işletmelerde ciddi iş kazaları ile karşı karşıya kalınmaktadır.

Metal sektöründe bulunan işletmelerde ortaya çıkabilecek iş kazalarının önlenmesi, işletmelerde mevcut olabilecek tehlikeler ve sonucunda ortaya çıkabilecek risklerin etkin şekilde bertaraf edilmesini gerektirmektedir. Ancak bu şekilde bir çalışma, kaynakların

¹ 30.06.2012 tarih ve 28339 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak amacıyla, ilk olarak öncelikli risklerin belirlenmesini diğer bir deyişle risklerin derecelendirmesini gerektirmektedir. Bu konu hakkında 6331 Sayılı Kanunun 30'uncu maddesi kapsamında yayımlanan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğinde¹; risk değerlendirme çalışmalarında risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi gerektiği belirtilerek vurgulama yapılmıştır.

Metal sektöründe mevcut olabilecek risklerin etkin yöntemlerle derecelendirmesi, önemsenmeyen tehlikelerden kaynaklanabilecek ciddi risklerin belirlenmesini ve hızlı bir şekilde risklere neden olan tehlikelerin bertaraf edilmesini sağlayacaktır. Bunlarla birlikte, bir karar destek sistemi ile metal sektörü işletmelerindeki kaza potansiyelinin belirlenmesi, metal sektörü işletmeleri için risk haritası oluşturulmasını, denetim otoriteleri ile iş sağlığı ve güvenliği profesyonellerince insan kaynağını verimli şekilde kullanarak yüksek riske sahip işletmelere denetimlerde öncelik verilmesini sağlayacaktır.

İSG çalışmalarının temelini oluşturan risk analizi yöntemleri, risklerin derecelendirmesi konusunda kullanılan temel araçlardır. Ancak çalışmalarda kullanılan yöntemler, uygulayıcıların sübjektif yorumlarını içermesi nedeniyle önemsenmeyen tehlikelerden kaynaklı risklerin derecelendirmesinde hatalı sonuçlar ortaya koymaktadır. Kaza tahmin modelleri, mevcut bilgiler doğrultusunda ileriye dönük olarak meydana gelebilecek potansiyel kazalar için tahminler ortaya koyan yöntemlerdir. Modeller hakkında yapılan çalışmalarda, farklı kaza türleri için çalışılmış olsa da işletmelerde yürütülen temel iş adımlarında ve işyeri genelinde ortaya çıkabilecek iş kazalarının tahmininde, makine öğrenim algoritmaları gibi gelişmiş yöntemlerin kullanılmadığı görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, metal sektöründe faaliyet gösteren işletmelerde öngörülemeyen risklerden kaynaklı ciddi iş kazalarının önlenmesine katkı sağlamak amacıyla, işletmelerde meydana gelen iş kazalarına ait veriler kapsamında gelişmiş bir makine öğrenim algoritması olan Yapay Sinir Ağları temelinde iş kazası tahmin modeli önerilmiştir. Sonrasında, risklerin objektif kriterlere göre derecelendirilmesi amacıyla modelin kantitatif bir risk analizi yöntemi ile entegre olduğu yeni bir metod önerilmiştir. Ayrıca, denetim kaynaklarının etkin kullanımını sağlamak amacıyla, önerilen kaza tahmin modeli temelinde bir denetim karar destek sistemi ortaya çıkartılmıştır.

¹ 29.12.2012 tarih ve 28512 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Beş bölümden oluşan tez çalışmasının birinci bölümünde çalışmanın konusu, amacı ve kapsamı detaylı bir şekilde belirtilmiştir.

İkinci bölümünde metal sektörü hakkında bilgiler verilmiş, iş kazası kavramı ve istatistikleri belirtilmiş, iş kazalarının incelenmesinde izlenen yöntemler belirtilmiştir. Sonrasında, risk derecelendirmesinin temelini oluşturan risk değerlendirmesi kavramsal çerçevesinde yer alan bilgiler verilmiş, yasal mevzuattan bahsedilmiş, risk analizi ve değerlendirmesi teknikleri tanıtılarak, çalışma kapsamında faydalanan kantitatif yöntem olan Fine Kinney hakkında ve yöntemin kullanıldığı bilimsel literatür konusunda detaylı şekilde bilgi verilmiştir. Son olarak, veri madenciliği ve makine öğrenmesi kavramları hakkında bilgi verilmiş, çalışma kapsamında faydalanan Yapay Sinir Ağları detaylı bir şekilde tanıtılmış, kaza tahmin modellerinden bahsedilmiş ve veri madenciliği, makine öğrenmesine dayalı kaza analizleri ve kaza tahmin modelleri uygulamalarına yönelik literatür araştırmasına yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde öncelikle metal sektörüne ilişkin olarak verilerin nasıl tanımlandığı belirtilmiş, sonrasında verilerin analizinde nasıl bir yöntem takip edildiği açıklanarak, uygulanan veri analiz yöntemleri belirtilmiştir. Sonrasında, kaza tahmin modelinin nasıl meydana getirildiği, tahmin modeline dayalı risk derecelendirme modeli ve ortaya konan kaza tahmin modeline dayalı denetim karar destek sistemi tanımlanmıştır.

Dördüncü bölümde çalışma kapsamında ortaya konan kaza tahmin modeli ile risk derecelendirme modeli ve denetim karar destek sistemi hakkında işyeri örnek uygulamaları üzerinden gerekli bulgular ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Beşinci bölümde çalışma kapsamında elde edilen bulgular hakkında sonuçlar belirtilmiş, çalışmanın devamı niteliinde ileriye dönük olarak yapılabilecek araştırmalar ile ilgili olarak öneriler yapılmıştır.

2. KAVRAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Metal Sektörüne İlişkin Bilgiler

Metal sektörü, teknolojinin gelişmesiyle birlikte her geçen gün önemini daha da fazla artırmakta ve sanayinin temel yapıtaşını oluşturan bir sektör haline gelmektedir. Sektörün teknolojik yönden sürekli gelişme göstermesi, dünya ticaretindeki hacminin artması, büyük oranda işgücü istihdam etmesi, dünya genelinde ekonomik faaliyetlerin toplamının artması ve ülke ekonomilerindeki büyümenin bir yansıması olarak konuta, otomotiv ve otomotiv yan sanayine, ekipman ve makinelere, beyaz eşyaya talebin artması olmak üzere diğer metal ve metal yan ürünlerine talebin her geçen gün büyük bir hızla artması sonucunda, dünya toplam metal sektörü üretimi de artmaktadır (İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, 2011:15).

Metal sektörü, metal ürünlerin kullanım alanının hızla yaygınlaşması, tüketiminin sürekli artması, imalat sanayine ara ürün üretmesi ve ihracat potansiyeli gibi özelliklerinden dolayı Türkiye ekonomisi açısından da büyük önem taşımaktadır (Karaboğa, 2014:4). Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) 2016 yılı verilerine göre, metal sektöründe 362.956 sigortalı çalışan istihdam edilmektedir. Bu sayı toplam sigortalı sayısının yaklaşık %2,6'sını oluşturmaktadır (Sosyal Güvenlik Kurumu Başkanlığı, 2016).

Metal sektörüne olan talebin her geçen gün artması, sektördeki üretim hacmi artışını da beraberinde getirmektedir. Gelişen teknoloji ve sanayide artan otomasyona rağmen, sektörde yaşanan üretim artışı, iş sağlığı ve güvenliği sorunlarını da beraberinde getirmektedir.

Bu kapsamda, Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) tarafından, metal sektöründe meydana gelen iş kazalarının başlıca sebeplerini oluşturduğu belirlenen faktörler aşağıdaki gibi belirtilmiştir (Uluslararası Çalışma Örgütü, 2005:16-17):

- Çalışma seviyesinde kayma ve düşmeler,
- Yüksekten düşmeler,
- Koruması bulunmayan makinalar,
- Düşen cisimler,

- Uygunsuz iş makinaları, kaldırma ve iletme ekipmanları (vinç, forklift, v.b.),
- Solunabilir maddelere maruziyet (gaz, buhar, toz ve duman),
- Kimyasallara maruziyet (tahriş edici maddeler, solventler),
- Sıcak yüzey ve maddelere temas,
- Yangın ve patlama,
- Aşırı sıcak ortam,
- Gürültü ve titreşim,
- Elektrikle temas,
- Elle taşıma, tekrarlayan işler ve uygun olmayan ergonomik koşullar,
- Makine otomasyon hataları,
- İSG eğitim eksikliği,
- Gözetim ve denetim eksikliği,
- Yetersiz iş organizasyonu,
- Yetersiz ilk yardım ve sağlık tesisleri.

Metal Sektöründe yürütülen faaliyetlerinin kapsamını tanımlamadan önce, NACE hakkında bilgi vermek faydalı olacaktır. NACE¹, Avrupa Birliği'nde 1970'den bu tarafa geliştirilen çeşitli istatistiki ekonomik faaliyet sınıflamalarını göstermek için kullanılmakta olan bir kısaltmadır. NACE, ekonomik istatistiklerdeki (Örnek olarak; üretim ve istihdam) ve diğer istatistiki alanlardaki ekonomik faaliyetlere göre istatistiksel verilerin büyük bir kısmının toplanması ve sunulması için bir çerçeve sağlamaktadır (Türkiye İstatistik Kurumu, 2015:5). NACE kodlarında yenileme çalışmaları yapılmış, 15 Ocak 2012 tarihinden itibaren "Faaliyet Sınıflamaları" başlığı altında "NACE Rev.2-Altılı Ekonomik Faaliyet Sınıflaması" adıyla yayımlanarak kullanıma sunulmuştur. Metal Sektöründe yürütülen faaliyetler; NACE Rev.2'de; "24-Ana Metal Sanayi" ve "25-Fabrikasyon Metal Ürünleri İmalatı (makine ve teçhizat hariç)" bölümlerine ayrılmıştır (TUİK, 2015:70-79).

Ana metal sanayi sektörü NACE Rev.2'de; üçlü düzeyde 5 gruba, dördü düzeyde ise 16 sınıfa ayrılmaktadır. Fabrikasyon metal sektörü ise NACE Rev.2'de; üçlü düzeyde 8 gruba, dördü düzeyde ise 17 sınıfa ayrılmaktadır. Ana metal sanayi sektörüne ilişkin NACE Rev.2 sınıflandırması Çizelge 2.1.'de verilmiştir. Fabrikasyon metal sanayi sektörüne ilişkin NACE Rev.2 sınıflandırması ise Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

¹ NACE Fransızca "Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflaması" başlığından türetilmiştir. (Türkiye İstatistik Kurumu, 2015:5)

Çizelge 2.1. Ana metal sektörü NACE rev.2 sınıflandırması (TÜİK, 2015:70-79)

Bölüm	Grup	Sınıf	Tanım
24			Ana metal sanayii
	24.1		Ana demir ve çelik ürünleri ile demir alaşımları imalatı
		24.10	Ana demir ve çelik ürünleri ile demir alaşımları imalatı
	24.2		Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı
		24.20	Çelikten tüpler, borular, içi boş profiller ve benzeri bağlantı parçalarının imalatı
	24.3		Çeliğin ilk işlenmesinde elde edilen diğer ürünlerin imalatı
		24.31	Barların soğuk çekilmesi
		24.32	Dar şeritlerin soğuk haddelenmesi
		24.33	Soğuk şekillendirme veya katlama
		24.34	Tellerin soğuk çekilmesi
	24.4		Değerli ana metaller ve diğer demir dışı metallerin imalatı
		24.41	Değerli metal üretimi
		24.42	Alüminyum üretilmesi
		24.43	Kurşun, çinko ve kalay üretimi
		24.44	Bakır üretilmesi
		24.45	Demir dışı diğer metallerin üretimi
		24.46	Nükleer yakıtların işlenmesi
	24.5		Metal döküm sanayii
		24.51	Demir döküm
		24.52	Çelik dökümü
		24.53	Hafif metallerin dökümü
		24.54	Diğer demir dışı metallerin dökümü

Çizelge 2.2. Fabrikasyon metal sektörü NACE rev.2 sınıflandırması (TÜİK, 2015:70-79)

Bölüm	Grup	Sınıf	Tanım
25			Makine ve teçhizat hariç, fabrikasyon metal ürünleri imalatı
	251		Metal yapı malzemeleri imalatı
		2511	Metal yapı ve yapı parçaları imalatı
		2512	Metal kapı ve pencere imalatı
	252		Metal tank, rezervuar ve muhafaza kapları imalatı
		2521	Merkezi ısıtma radyatörleri (elektrikli radyatörler hariç), sıcak su kazanları (boyler) ve kombi imalatı
		2529	Metalden diğer tank, rezervuar ve büyük muhafaza kapları (kapasitesi >=300 litre) imalatı
	253		Buhar jeneratörü imalatı (merkezi ısıtma sıcak su kazanları hariç)
		2530	Buhar jeneratörü imalatı (merkezi ısıtma sıcak su kazanları hariç)
	254		Silah ve mühimmat (cephane) imalatı
		2540	Silah ve mühimmat (cephane) imalatı
	255		Metallerin dövülmesi, preslenmesi, baskılanması ve yuvarlanması; toz metalürjisi
		2550	Metallerin dövülmesi, preslenmesi, baskılanması ve yuvarlanması; toz metalürjisi
	256		Metallerin işlenmesi ve kaplanması; makinede işleme
		2561	Metallerin işlenmesi ve kaplanması
		2562	Metallerin makinede işlenmesi ve şekil verilmesi
	257		Çatal-bıçak takımı ve diğer kesici aletler ile el aletleri ve genel hırdavat malzemeleri imalatı
		2571	Çatal-bıçak takımları ve diğer kesici aletlerin imalatı
		2572	Kilit ve menteşe imalatı
		2573	El aletleri, takım tezgahları uçları, testere ağızları vb. imalatı
	259		Diğer fabrikasyon metal ürünlerin imalatı
		2591	Çelik varil ve benzer muhafazaların imalatı
		2592	Hafif metalden paketleme malzemeleri imalatı
		2593	Tel ürünleri, zincirler ve yayların imalatı
		2594	Bağlantı malzemelerinin ve vida makinesi ürünlerinin imalatı
		2599	Başka yerde sınıflandırılmamış diğer fabrikasyon metal ürünlerin imalatı

İşyerlerine ait “Tehlike Sınıfları”, İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği¹ ile belirlenmiştir. Metal sektöründe yer alan işyerlerinin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği ekinde yer alan İşyeri Tehlike Sınıfları Listesinde, NACE Rev.2’de belirtilen altı alt sınıfa kadar belirtilmiştir. Buna göre, metal sektöründe yer alan işyerleri yalnızca “tehlikeli” ve “çok tehlikeli” sınıfta yer almaktadır. Bu durum, sektörde çalışma koşullarında ve şekillerinde mevcut olan geniş kapsamlı tehlikelerin varlığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, metal sektörü işyerlerinde mevcut olabilecek tehlike ve risklerin dikkatli bir şekilde irdelenmesi, sektörde meydana gelen iş kazalarının engellenmesini sağlayacak önemli bir aşamadır.

2.2. İş Kazası Kavramı

Ülkemizde iş kazası ile ilgili olarak ilk tanım İş Kazalarıyla Meslek Hastalıkları ve Analık Sigortaları Kanunu² ile yapılmıştır. Günümüzde ise yürürlükte bulunan 5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu³ 13. Maddesinde sigortalı kavramından yola çıkarak, aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

İş kazası; a) Sigortalının işyerinde bulunduğu sırada, b) İşveren tarafından yürütülmekte olan iş nedeniyle sigortalı kendi adına ve hesabına bağımsız çalışıyorsa yürütmekte olduğu iş nedeniyle, c) Bir işverene bağlı olarak çalışan sigortalının, görevli olarak işyeri dışında başka bir yere gönderilmesi nedeniyle asıl işini yapmaksızın geçen zamanlarda, d) Bu Kanunun 4 üncü maddesinin birinci fıkrasının (a) bendi kapsamındaki emziren kadın sigortalının, iş mevzuatı gereğince çocuğuna süt vermek için ayrılan zamanlarda, e) Sigortalıların, işverence sağlanan bir taşıtla işin yapıldığı yere gidiş gelişi sırasında, meydana gelen ve sigortalıyı hemen veya sonradan bedenen ya da ruhen engelli hâle getiren olaydır.

Son olarak 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 3. Maddesinde yer alan tanımlar alt başlığında ise tüm çalışanları kapsayacak şekilde oldukça geniş bir çerçeve içerisine alınarak, aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

“İş kazası: İşyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen engelli hâle getiren olaydır.”

¹ 26.12.2012 tarih ve 28509 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

² 07.07.1945 tarih ve 6051 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

³ 16.06.2016 tarih ve 26200 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Yapılan bir çalışmada, iş kazasına uğrayan çalışanlarda ortaya çıkan etkiler; psikolojik değişiklikler, davranışsal bozukluklar, sosyal izolasyon, iş görme gücünde kayıp ve ekonomik baskı olarak belirtilmiştir (Health and Safety Executive, 2006:3). İş kazaları sonucu ortaya çıkan etkiler yalnızca kazaya maruz kalan çalışanları ve ailelerini değil, ortaya çıkan maliyetlerden dolayı işverenleri ve sosyal güvenlik sistemi ile üretkenlikte meydana kayıplardan dolayı toplumun genelini de etkilemektedir. Dünyada her yıl meydana gelen iş kazaları sonucu ortaya çıkan tazminatlar, tedavi ve rehabilitasyon harcamaları ve iş göremezlik ödemelerinin toplam maliyeti, dünya gayri safi milli hasılasının %4'üne eşittir (Yokoyama, Iijima, Ito ve Kan 2014). Bu nedenle iş kazalarının yalnızca çalışan ve işveren açısından etkileri olan bir sorun olmadığı, toplumun tümünü ilgilendiren bir sorun olduğu anlaşılmaktadır.

2.3. Metal Sektörü İş Kazası İstatistikleri

Ülkemizde iş kazaları ile ilgili en kapsamlı veriler, Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından kayıt altına alınmıştır. SGK tarafından düzenli olarak her yıl için yayımlanan veriler SGK İstatistik Yıllıkları içerisinde toplanmıştır.

Bugün itibariyle 2016 yılına kadar olan iş kazalarına ait veriler SGK tarafından yayımlanmıştır. İş kazalarına ait istatistikler her bir yılda üç bölüm altında verilmiş ve iş kazaları sayıları ilgili sektörün NACE Rev.2 Ekonomik Faaliyet Sınıflamasında yer alan bölüm tanımlarına göre belirtilmiştir.

SGK iş kazası istatistiklerinde, 2012 ve öncesi yıllarda iş kazası geçiren sigortalı sayılarına ait istatistikler verilirken, ödemesi yapıp kapatılan iş kazası vaka sayıları esas alınmıştır. Ancak, 2013 yılından itibaren SGK tarafından iş kazası bildirim formunun elektronik ortamda alınmaya başlanmış ve iş kazası istatistikleri iş kazası bildirimlerine göre tutulmaya başlanmıştır.

SGK istatistiklerinde göre ülkemizde meydana gelen iş kazaları sayısında, ilk üç sıra maden, yapı ve metal sektörlerine aittir. Buna göre; 2010-2016 yılları arasında belirtilen sektörlerde meydana gelen iş kazası sayısı ve toplam iş kazası sayısına göre oranları Çizelge 2.3.'de, ölümlü iş kazaları sayıları ve toplam ölümlü iş kazası sayısına göre oranları ise Çizelge 2.4.'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.3. ve Çizelge 2.4.'de belirtilen iş kazası sayılarında, SGK istatistiklerinde belirtilen NACE Rev.2'ye göre; “Metal Sektörü” için “24-Ana Metal Sanayi” ve “25-Makine ve teçhizat hariç fabrikasyon metal ürünleri imalatı”, “Yapı Sektörü” için “41-Bina İnşaatı”, “42-Bina Dışı Yapıların İnşaatı” ve “43-Özel İnşaat Faaliyetleri”, “Maden Sektörü” için “05-Kömür ve Linyit Çıkartılması”, “06-Ham Petrol ve Doğalgaz Çıkarımı”, “07-Metal Cevheri Madencilik” ve “08-Diğer Madencilik ve Taşocakçılığı” ekonomik faaliyet sınıflamalarında görülen iş kazası sayılarının toplamı dikkate alınmıştır.

Çizelge 2.3.'de verilen iş kazası sayılarında, 2013 yılı ve sonrasında SGK tarafından iş kazası sayıları hesaplama yönteminde değişikliğe gidilmesi nedeniyle, kaza bildirim tarihi itibarıyla beşinci günde veya daha sonra işe dönüşün meydana geldiği kazalar dikkate alınmıştır. Çizelge 2.4.'de ise 2013 yılı ve sonrasında ölümlü iş kazası sayılarının SGK tarafından çalışanın kazayı izleyen günden sonraki bir yıl içinde ölümüyle sonuçlanan iş kazası olarak kabul edilmesi nedeniyle, bu sayılar belirtilmiştir.

Çizelge 2.3.'de belirtilen verilere göre; metal sektöründe meydana gelen iş kazası sayısı, 2015 yılı haricinde diğer sektörler göre daha yüksek bir orana sahiptir. Ancak, Çizelge 2.4.'de belirtilen verilere göre metal sektörü, ölümlü iş kazası sayısında diğer sektörler göre düşük orana sahiptir. Metal sektöründe meydana gelen iş kazaları sayıları diğer sektörlerden yüksek olmasına rağmen ölümlü iş kazası sayısının daha az olması, sektörde mevcut olan iş sağlığı ve güvenliği risklerinin göz ardı edilmesine neden olmaktadır. Bunun doğal bir sonucu olarak, metal sektöründe önemsenmeyen risklerden kaynaklı ciddi kazalar görülebilmektedir. Bu nedenle, sektörde mevcut olan iş sağlığı ve güvenliği risklerinin belirlenmesi ve gerekli risk kontrol adımları uygulanarak önleyici tedbirlerin alınması, sektörün iş sağlığı ve güvenliği seviyesini yükseltmek için önemli bir kazanım olacaktır.

2.4. İş Kazalarının İncelenmesi

İşyerlerinde meydana gelen iş kazalarının incelenmesi, işverenler ile çalışanların işyerinde yürütülen iş adımlarında mevcut olan iş sağlığı ve güvenliği tehlikeleri ile eksikliklerinin belirlenmesi için önemli bir fırsat sağlamaktadır. En önemlisi ise incelemeler, işverenler ile çalışanların ilerleyen dönemde önemli kazalarla karşılaşmamaları için gerekli önleyici tedbirleri almasına imkân sağlamaktadır. Kazalarda kişileri suçlamak için değil, kök

nedenlerinin ortaya çıkarılmasına yönelik yapılan çalışmalar, işyerinde yalnızca motivasyonun artırılmasını sağlamayacak aynı zamanda işverenin güvenli ve sağlıklı bir işyerini oluşturma isteğini artırarak işyerindeki verimliliği de artıracaktır. İşyerlerinde iş kazası incelemeleri genellikle iş güvenliği uzmanları tarafından yapılmaktadır. Ancak etkinliği artırmak için bu incelemeler, her biri farklı bilgiler, anlayış ve bakış açıları getirdiği için yöneticileri ve çalışanları da içermelidir. İş kazası incelemelerinde, yalnızca görünen sebeplere bakılmamalıdır. Dikkatsizliğin veya tek başına bir prosedürü izlememenin bir kazanın sebebi olduğu sonucuna varmak çok kolay ve çoğu zaman yanıltıcıdır. Bu şekilde bir yöntem, olayın altında yatan kök nedenlerin bulunamamasına ve bu nedenle gelecekteki kazaları önlemek için gerekli sistematik değişiklikleri ve önlemlerin tespit edilememesine neden olacaktır (Occupational Safety and Health Administration, 2018).

Ülkemizde işyerlerince yürütülecek iş kazası değerlendirme programları 6331 Sayılı Kanunun 30'uncu maddesi kapsamında yayımlanan İş Güvenliği Uzmanlarının Görev, Yetki, Sorumlulukları ve Eğitimleri Hakkında Yönetmelik¹ kapsamında iş güvenliği uzmanlarının sorumluluğuna verilmiştir. İş güvenliği uzmanlarının bu konudaki görevi, söz konusu Yönetmeliğin dokuzuncu maddesi birinci fıkrasının d/1 bendinde aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

“İşyeri hekimiyle birlikte iş kazaları ve meslek hastalıklarıyla ilgili değerlendirme yapmak, tehlikeli olayın tekrarlanmaması için inceleme ve araştırma yaparak gerekli önleyici faaliyet planlarını hazırlamak ve uygulamaların takibini yapmak.”

Yukarıda belirtilen ifadeye göre; iş güvenliği uzmanları, işyerlerinde meydana gelen iş kazalarının kök sebepleri ile ilgili değerlendirme yaparak, iş kazalarına sebebiyet veren tehlikelerin tekrar ortaya çıkmasını önlemek üzere önleyici tedbirlerin alınmasını sağlayacak planların hazırlanması ve bu planların uygulanmasının sağlanması ile görevlendirilmiştir.

Ülkemizde iş kazaları ile ilgili yasal incelemeler ise Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı tarafından yapılmaktadır. Bakanlığın merkez birimlerinden olan Rehberlik ve

¹ 29.12.2012 tarih ve 28512 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

Teftiş Başkanlığı; iş kazalarının meydana geliş sebepleri ve bunların bir daha meydana gelmemesi için alınabilecek önlemlerin tespitine yönelik olarak incelemeler yapmaktadır. Başkanlık bünyesinde görev yapan İş Müfettişleri tarafından işyerlerinde gerçekleştirilen iş kazası incelemelerinde kök sebepler araştırılarak, kazanın oluşumunda makine, insan ve iş organizasyonunun etkisi ortaya konulmaktadır.

Bununla birlikte, Bakanlığın ilgili kuruluşu olan SGK Rehberlik ve Teftiş Başkanlığı tarafından da iş kazası incelemeleri gerçekleştirilmektedir. Başkanlık Müfettişleri tarafından gerçekleştirilen incelemelerde, meydana gelen iş kazası sonrasında; 5510 Sayılı Kanun kapsamında vefat eden sigortalının yakınlarına bağlanan gelirler, iş göremezliğe uğrayan sigortalıya bağlanan gelirler ve sigortalıya yapılan sağlık ödemelerinin tazmini için kazaya uğrayan sigortalı, işveren ve kaza ile bağı bulunan üçüncü kişilerin kusur oranlarının belirlenmesi yönünde değerlendirme yapılmaktadır.

2.5. Risklerin Derecelendirilmesi

2.5.1. Tehlike, risk, kabul edilebilir risk seviyesi ve risk değerlendirmesi kavramları

“Tehlike” ve “Risk” kavramları birbirleriyle ilişkili olmasına rağmen, tamamen farklı anlamlara sahiptir. Kavramlar, günlük kullanımda sık sık birbirleriyle karıştırılmakta ve birbirlerinin yerine kullanılmaktadır.

“Tehlike” en genel anlamıyla, gerekli tedbirlerin alınmaması durumunda, hastalık veya mal hasarına yol açabilecek bir durum veya durumlar kombinasyonudur. Diğer bir genel tanıma göre ise tehlike, kaza meydana getirme potansiyelidir (Dizdar, 2008:231-232).

İşyerlerinde mevcut olan başlıca tehlike kaynakları ise, çevresel etkiler (gürültü, aydınlatma, termal konfor), zararlı maddeler (tozlar, gazlar), işyeri yerleşimi, iş organizasyonu, iş ekipmanları, yüksekte yapılan çalışmalar ve elektriksel kaynaklar olarak tanımlanmıştır (Ramesh, Prabu, Magibalan ve Senthilkumar, 2017).

“Risk”, tehlikeden kaynaklanan olası yaralanma veya kayıp durumuna maruz kalınmasıdır. Diğer bir deyişle, potansiyel tehlike sonucunda ortaya çıkan kaybın beklenen değeridir (Ericson, 2005:478). Bununla birlikte risk, tehlike şiddetinin belirsizliği durumunda

tanımlanan ölçüm değeridir (Hoj ve Kroger, 2002). Buna göre risk, olumsuz etkilerin olasılığını ve şiddetini belirten bir ölçüt olarak da belirtilebilir.

“Kabul Edilebilir Risk Seviyesi” ile ilgili olarak en kapsamlı tanım 6331 Sayılı Kanunun 30’uncu maddesi kapsamında yayımlanan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğinde belirtilmiştir. Yönetmeliğin tanımlar başlıklı dördüncü maddesinde, tanım aşağıdaki gibi yapılmıştır.

“Kabul edilebilir risk seviyesi: Yasal yükümlülüklerle ve işyerinin önleme politikasına uygun, kayıp veya yaralanma oluşturmayacak risk seviyesini ifade eder.”

“Risk Değerlendirmesi” ise, insan faaliyetlerinin tehlikeli özelliklere sahip sistemler üzerindeki etkilerini, oluşumlarını ve sonuçlarını değerlendiren önemli ve sistematik bir süreçtir. Risk değerlendirmesi, bir işyerinin güvelik politikasını meydana getiren gerekli bir araçtır (Marhavilas, Koulouriotis ve Gemeni, 2011).

2.5.2. Yasal mevzuat

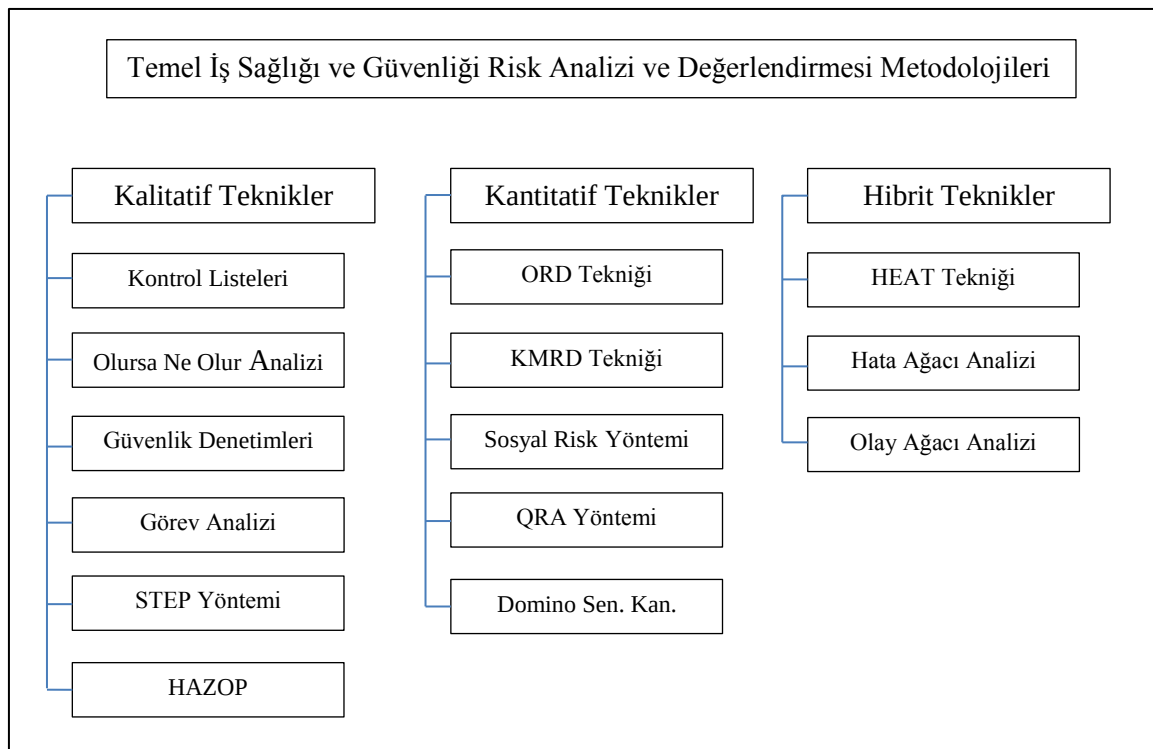
Ülkemizde, İş Sağlığı ve Güvenliği Mevzuatında işverenler için risk değerlendirmesi yaptırma zorunluğu, 6331 Sayılı Kanunun “işverenin genel yükümlülükleri” başlıklı dördüncü maddesinin birinci fıkrasının (c) bendi ile ortaya çıkmıştır.

6331 Sayılı Kanunun 30’uncu maddesi kapsamında yayımlanan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğinde ise risk değerlendirmesi çalışmalarında kimlerin yer alacağı belirlenmiş, risk değerlendirmesinin dokümanite edilmesi için hangi aşamaların kaydedileceği tanımlanmıştır.

İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğinin dokuzuncu maddesinde yer alan “risklerin belirlenmesi ve analizi” başlığı altında ise özetle; tehlikelerden kaynaklanacak risklerin hangi sıklıkla oluşabileceği ile bu risklerden kimlerin ve nelerin hangi şiddette zarar görebileceğinin belirlenmesi gerektiği, risklerin ulusal veya uluslararası standartlar esas alınarak seçilen yöntemlerle analiz edilebileceği ve risk kontrol tedbirlerine karar vermek üzere belirlenen risklerin *derecelendirilmesi* gerektiği hükme bağlanmıştır.

2.5.3. Risk analizi ve değerlendirmesi tekniklerine genel bir bakış

Risk analizi ve değerlendirmesi teknikleri (RAD), bilimsel literatürde üç ana kategoriye ayrılmıştır: a) kalitatif teknikler, b) kantitatif teknikler, c) hibrit teknikler. Kalitatif teknikler, analitik yaklaşıma ve iş güvenliği uzmanlarının yeteneğine dayalıdır. Kantitatif tekniklerde risk bir nicelik ile tabir edilir. Nicelik ise işyerlerinde kayıt altına alınan gerçek kaza verilerinin, matematiksel eşitlikte kullanılmasıyla elde edilir. Hibrit tekniklerin kullanımı ise plansız yapısından dolayı oldukça zordur (Marhaviyas ve diğerleri, 2011). Temel İş Sağlığı ve Güvenliği RAD Metodolojileri Şekil 2.1.'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Temel iş sağlığı ve güvenliği risk analizi ve değerlendirmesi metodolojileri (Marhaviyas ve diğerleri, 2011)

İşyerlerinde uygulanan iş sağlığı ve güvenliği RAD metodolojilerine ait kısa tanımlar aşağıda yapılmıştır.

Kalitatif teknikler

a) *Kontrol Listeleri*: Geçmiş bilgilerden derlenen soruların listede yer aldığı sistematik bir yaklaşımdır. Genellikle sorular üzerinde eğitim almış bir birey veya grup tarafından

uygulanır. Sorularda yalnızca kalitatif bilgiler yer almaktadır. Yöntemin kalitesi soruları hazırlayan uzmanların deneyimine ve cevaplayan çalışanların eğitimine bağlıdır (Marhaviyas ve diğerleri, 2011).

b) Olursa Ne Olur Analizi: İşyerindeki potansiyel problemlere açıklamalar getiren bir yöntemdir. Sorular ile cevaplar ve problemleri önlemek için önerilerin yer aldığı bir şekle sahiptir. Genellikle kontrol listeleri ile kullanılan detaylı bir RAD tekniğidir (Marhaviyas ve diğerleri, 2011).

c) Güvenlik Denetimleri: İşyerlerinde iş güvenliği uzmanı veya bir denetim takımı tarafından uygulanan bir tekniktir. Sahada gerekli incelemeler yapılarak ekipmandan veya çalışma koşullarından kaynaklanabilecek kazalar analiz edilir (Marhaviyas ve diğerleri, 2011).

d) Görev Analizi: Önceden belirlenen amaçlara ulaşılması için çalışanların ve çalışanların görev aldığı takımların yürütmüş olduğu aktiviteler ile iletişimlere üzerine çalışmaları içermektedir (Marhaviyas ve diğerleri, 2011).

e) STEP (Sequentially Timed Event Plotting - Sıralı Zamanlanmış Olay Grafiği) Yöntemi: Kazaya neden olan olayların, zamanlamasını ve sırasını belirlemek üzere kullanılan bir yöntemdir. Diğer bir deyişle, kazaya sebebiyet veren tehlikeli durumlar dizisinin grafiğini oluşturulmasına yönelik bir çalışma içerir (Marhaviyas ve diğerleri, 2011).

f) HAZOP (Hazard and Operability Study – Tehlike Ve İşletilebilirlik Çalışması) Yöntemi: Süreçteki normal çalışma koşullarından sapmaları tespit etmek ve kazaları önlemek üzere uygun güvenlik tedbirlerinin yerinde olup olmadığını saptamak üzere kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin temeli, işyerlerindeki tehlikelerin normal çalışma prosedürlerinin dışına çıkılmasından kaynaklandığı prensibidir. Yöntem sürecin tümüyle bilindiği durumlarda kullanılabilir (Marhaviyas ve diğerleri, 2011).

HAZOP yöntemi, yapısı itibarıyla kimyasal üretim süreçlerinin yoğun olduğu işyerlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Kantitatif teknikler

a) *Oransal Risk Değerlendirmesi Tekniği (ORD)*: Oransal risk değerlendirmesi tekniğinin, bilimsel literatürdeki ilk uygulaması 1971 yılında (Fine ve Kinney, 1971) yapılmıştır. Bu teknikte, sayısal risk puanını bulmak için oransal bir formül kullanılır. Formülde risk puanı (P); olasılık faktörü (P), frekans (maruziyet) faktörü (F) ve şiddet faktörü (S) dikkate alınır ve aşağıdaki Eş. 2.1.'e göre hesaplanır.

$$R = P \times F \times S \quad (2.1)$$

Yukarıda belirtilen eşitlik, risk yönetiminde önceliklerin belirlenmesi adına mantıksal bir çerçeve sunmaktadır (Marhaviyas ve diğerleri, 2011).

“P”, “S” ve “F” faktörleri; yapılan işyerleri ziyaretleri sonucu elde edilecek bilgiler dahilinde yaklaşık olarak belirlenir. Ortaya çıkan risk puanına göre, işyerinde alınacak düzeltici önlemin derecesi belirlenir (Marhaviyas ve diğerleri, 2011).

b) *Karar Matrisi Risk Değerlendirmesi Tekniği (KMRD)*: Risklerin meydana gelme olasılığının ve şiddeti hakkında sübjektif yargıya dayanan bir yöntemdir. Olasılık ve şiddet faktörünün çarpımı sonucu bulunan risk puanının şiddeti, bir risk matrisi dikkate alınarak değerlendirilir ve alınması gerekli önlem ortaya konulur (Marhaviyas ve diğerleri, 2011).

Karar matrisi risk değerlendirmesi tekniği, küçük ölçeklilerden büyük ölçeklilere kadar birçok işletmede yoğun olarak kullanılmaktadır.

c) *Sosyal Riske Ait Kantitatif Yöntemler*: Karmaşık sistemlerde mevcut olan tehlikelerin neden olacağı sosyal riskleri belirlemeye yönelik yöntemlerdir. Tehlikelere ilişkin kaza senaryoları üzerinden (S_k), her bir senaryonun meydana gelme frekansı (F_k) (yıllık meydana gelme olasılığı gibi) ve senaryo sonucuna (N_k) göre oluşturulan FN eğrileri kullanılarak yapılır (Marhaviyas ve diğerleri, 2011).

d) *QRA (Quantitative Risk-Assessment Tool - Kantitatif Risk Değerlendirme Aracı) Yöntemi*: Toz patlaması tehlikesi bulunan endüstriyel tesisler için bireysel ve sosyal riski

belirlemek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Bireysel risk, etki alanı içerisindeki şahısları dikkate alırken, sosyal risk çevreyi dikkate almaktadır. (Van der Voort ve diğerleri, 2007)

e) Domino Senaryosu Kantitatif Değerlendirmesi: Domino etkisi, ortaya çıkan küçük bir olay sonucu bir veya birden fazla ikincil bir etkinin ortaya çıkması ile şiddeti ilk olaydan çok daha fazla bir olayın meydana gelmesidir. Bu nedenle bir kazada domino etkisi, birincil kaza olayı etkisinin artarak çoğaldığı veya birincil kazaya göre görece daha ciddi sonuçların ortaya çıktığı kazalarda söz konusudur. Bu nedenle, domino kazaları için kantitatif risk değerlendirmesinde, birincil olay sonrası meydana gelen tüm ikincil farklı kombinasyonunun frekans ve şiddet faktörlerinin belirlenmesi gerekmektedir (Marhavilas ve diğerleri, 2011).

Hibrit teknikler

a) HEAT Tekniği (Human Error Analysis Techniques - İnsan Hata Analiz Tekniği): İnsan hataları birçok sektörde ciddi kazaların ana sebeplerinden kabul edilmektedir. Bu yöntemde insan hatasının ortaya çıkma olasılığı belirlenerek riskler değerlendirilmektedir.

b) Hata Ağacı Analizi: İstenmeyen bir olayın, ortaya çıkma olasılığı ve kök nedenlerinin belirlenmesi amacı ile kullanılan bir sistem analizi tekniğidir. İstenmeyen olay veya duruma götüren, hata veya normal olarak sınıflandırılan mümkün olayların çeşitli kombinasyonlarını mantıksal ve şekilsel olarak ifade eden grafiksel bir modeldir. Grafiksel model, sonrasında hata olasılıklarını ve sistem önem ölçütlerini belirlemek üzere matematiksel modele dönüştürülür (Ericson, 2005:183).

c) Olay Ağacı Analizi: Karar ağaçlarını kullanarak, başlatıcı bir olay sonrasında meydana gelebilecek kaza senaryolarının olasılığını belirlemek üzere kullanılan istatistiksel bir risk değerlendirmesidir. Yöntemin amacı, başlatıcı bir olayın ciddi kazaya sebep verip veremeyeceği ve kazanın meydana gelmesinin güvenlik önlemleri ile engellenip engellenemeyeceğidir. Oluşturulan ağaç, tek bir başlatıcı olaydan birden çok kaza senaryosu ve her bir kazanın meydana gelme olasılık değerini belirtme kapasitesine sahiptir (Ericson, 2005:223). Yöntemdeki başlatıcı olay ve kaza senaryolarına örnek vermek gerekirse; bir akaryakıt tankında oluşan sızıntı bir başlatıcı olay ise meydana gelebilecek yangın, patlama ve çevresel hasar ise olası kaza senaryolarıdır.

2.5.4. Fine Kinney yöntemi ve objektif kriterlere dayalı risk derecelendirmesi

Bir önceki bölümde yapılan sınıflandırma kapsamında, Kantitatif RAD Metodolojisi kategorisinde ve ORD Teknikleri içerisinde yer alan Fine Kinney Yöntemi (FKY), ilk olarak 1971 yılında kullanılmıştır (Fine ve Kinney, 1971).

Sonrasında yöntem 1976 yılında tekrar ele alınarak etkili bir risk değerlendirmesi aracı haline getirilmiştir (Kinney ve Wiruth, 1976:1-20).

FKY'nin içerisinde yer aldığı ORD Tekniğinin avantajları; kolay kullanılabilir kantitatif bir yöntem olması, matematiksel risk ölçümü sunması, istenmeyen olay ve kaza kayıtlarını kullanarak güvenli sonuçlar ortaya koyması, sayısal değerler sunarak diğer risk analizi yöntemlerine veri sağlayabilmesidir (Marhaviyas ve Kolulouriotis, 2008).

FKY'nin tek bir dezavantajı ise; kaza verilerinin kayıt altına alınması için işyerlerince fazlaca zaman ayrılması ve çalışma yapılması gerekliliğidir (Marhaviyas ve Kolulouriotis, 2008).

Reniers, Dullaert, Ale ve Soudan (2005) tarafından yapılan çalışmada, FKY'nin operasyonel seviyedeki tehlikelerin tespit edilmesinde etkin bir yaklaşım olduğu ve risk skoru hesaplamasının işyerlerindeki güvenlik yöneticileri için öncelikleri belirlemek adına faydalı bir yaklaşım olduğu belirtilmiştir.

FKY ile risklerin değerlendirilmesi sonucu belirlenen sayısal risk puanları, risklerin derecelendirmesini sağlamaktadır. Buna göre FKY; Mevzuat¹ kapsamında işyerlerince yapılması gereken risklerin derecelendirmesi ve kontrol tedbirlerinin belirlenmesi adımıyla kullanılabilecek önemli bir araçtır.

FKY'de, ORD Tekniklerinde olduğu gibi risk puanını üç faktörün çarpımı ile elde edilmektedir ($R = P \cdot F \cdot S$).

Kinney ve Wiruth tarafından bu üç faktör aşağıda belirtildiği şekilde açıklanmıştır.

¹ İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği.

Tehlikeli olayın meydana gelme olasılığı (P)

Tehlikeli olayın meydana gelmesi durumunda riskin meydana gelme olasılığının matematiksel değeridir. Olasılık değerlerinde; geçmişte görülen ve görülmesi yine muhtemel olan olaylarda en yüksek, görülme ihtimali bulunmayan olaylar için ise en küçük değer belirlenmiştir. Sızıntı testi yapılmış bir basınçlı kaptan kaynaklanabilecek kazalar gibi, kaza meydana gelmesi beklenmeyen ancak olma ihtimali bulunan durumlar için ise birim değer olasılık olarak belirlenmiştir (Kinney ve Wiruth, 1976:7-8). Fine Kinney yöntemi olasılık skalası Çizelge 2.5.'de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Fine Kinney yöntemi olasılık skalası (Kinney ve Wiruth, 1976:8)

Olasılık Açıklaması	Olasılık Değeri (P)
Kesinlikle Beklenir	10
Oldukça Mümkün	6
Mümkün	3
Çok Düşük İhtimalle Mümkün	1
Beklenmez ancak az da olsa Mümkün	0,5
Pratik Olarak Beklenmez	0,2
Beklenmez	0,1

Tehlikeli olayın meydana gelme sıklığı/frekansı (F)

Potansiyel tehlikeli olaya sıkça maruz kalınması, ortaya çıkacak riski artırmaktadır. Teknikte “çok seyrek” ile “çok sık” frekansı arasında toplam, altı değer belirlenmiştir (Kinney ve Wiruth, 1976:8). Fine Kinney yöntemi sıklık/frekans skalası Çizelge 2.6.'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Fine Kinney yöntemi sıklık/frekans skalası (Kinney ve Wiruth, 1976:8)

Sıklık Açıklaması	Sıklık Değeri (F)
Çok Sık (her çalışma saatine en az bir)	10
Sık (günde 1 ya da birkaç defa)	6
Ara Sıra (haftada 1 ya da birkaç defa)	3
Sık Değil (ayda 1 ya da birkaç defa)	2
Seyrek (yılda birkaç defa)	1
Çok Seyrek (yılda 1 ya da daha az)	0,5

Risk etkisi/şiddeti (S)

Tehlikeli olay sonucunda meydana gelen riskin etki değeridir (Kinney ve Wiruth, 1976:8-9). Risk sonucunda ortaya çıkan maliyet ve kaza şiddetine göre teknikte skala belirlenmiştir (Çizelge 2.7).

Çizelge 2.7. Fine Kinney yöntemi etki değeri skalası (Kinney ve Wiruth, 1976:9)

Etki/Şiddet Açıklaması	Etki Değeri (S)
Birden Fazla Ölümlü Kaza	100
Ölümlü Kaza	40
Kalıcı Hasar, Yaralanma, Çevresel Hasar	15
Önemli Hasar ve Yaralanma	7
Küçük Hasar ve Yaralanma	3
Ramak Kala Olay	1

Risk Skoru Değerlendirmesi: Risk skoru, öncesinde belirtildiği gibi; olasılık, sıklık/frekans ve etki/şiddet faktörlerinin çarpımı sonucu bulunmaktadır. Kinney ve Wiruth, risk skorlarını deneyimlerine göre kategorilere ayırmıştır. Buna göre, 20 ve altında risk skoru düşük risk kabul edilmiştir. 400 ve üzeri risk puanını ise kabul edilemez risk olarak belirlemişlerdir (Kinney ve Wiruth, 1976:9-10). Risk skoru değerlendirme skalası Çizelge 2.8.'de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Fine Kinney yöntemi risk skoru skalası (Kinney ve Wiruth, 1976:10)

Risk Skoru (R)	Risk Durumu Açıklaması
R > 400	Çok Yüksek Risk; Operasyonun Durdurulmalı
200 - 400	Yüksek Risk; Acil Tedbir Gerekli
70 – 200	Önemli Risk; Tedbir Gerekli
20 – 70	Olası Risk; Dikkat Belirtilmeli
20 > R	Risk; Kabul Edilebilir Olabilir

FKY'nin en önemli özelliği, işyerlerinden elde edilen gerçek kaza ve ramak kala olaylara ilişkin verilerin toplanması ve değerlendirilmesi sonucunda faktörlerin belirlenmesidir. Belirlenen faktörlere göre, işyerine ait riskler ortaya çıkan risk skoru ile derecelendirebilmektedir. Bu yönüyle teknik, işyerleri için matematiksel derecelendirmeye

izin veren objektif kriterlere dayalı bir yöntemdir. Ancak, söz konusu kaza verilerini her boyuttaki işletmeden toplayarak tüm faktörleri belirlemek oldukça zordur. Özellikle, risk sonucu ortaya çıkabilecek etki/şiddet faktörünü belirlemek oldukça karmaşıktır. Bu nedenle tekniğin pratik hayattaki uygulamalarında çoğunlukla birçok faktör uzmanların deneyimi ve sübjektif yorumlarıyla belirlenmektedir.

Reniers ve diğerleri (2005) tarafından bu durum hakkında vurgulama yapılarak, tekniğin dezavantajı olarak değerlendirmenin uzmanın görüşlerine bağlı olması belirtilmiştir.

Bu nedenle çalışma kapsamında, kantitatif bir yöntem ile metal sektöründe faaliyet gösteren işyerlerinde mevcut olabilecek risklerin derecelendirmesini gerçekleştirmek üzere FKY'nin uygun bir yöntem olduğu değerlendirilmiştir. Ancak, tekniğin etkin bir şekilde kullanılması için bilimsel literatürde belirtilen dezavantajlarının giderilmesi gerekmektedir.

Özellikle risk skorunun belirlenmesinde yüksek öneme sahip etki/şiddet bileşeni için doğrudan kaza verilerini öğrenerek yorum yapabilecek metotlar kullanılarak objektif kriterlere dayalı bir risk derecelendirmesi yöntemi ortaya çıkarılması, metal sektörü için oldukça önemli bir gelişme olacaktır.

2.5.5. Fine Kinney yöntemi uygulamalarına yönelik literatür araştırması

İş Sağlığı ve Güvenliği literatüründe, özellikle son yıllarda FKY uygulamaları oldukça artmıştır. Ancak yapılan çalışmalarda, yöntemin dezavantajlarından arındırılarak sadece objektif kriterlere göre yapıldığı uygulama görülememektedir. Bununla birlikte özellikle son yıllarda, FKY uygulamasında uzman görüşlerindeki sübjektif kriterlerin bulanık yöntemler kullanılarak çözülmeye çalışıldığı görülebilmektedir.

Marhavalas ve Koulouriotis (2008), geliştirdikleri ORD tekniğinde FKY risk skoru hesaplama altyapısını kullanmışlardır. Geliştirdikleri faktör skalalarında, klasik FKY'den farklı olarak olasılık, frekans ve şiddet 10 kategoriye ayrılmıştır. Yöntem bir alüminyum ekstrüzyon işletmesinden elde edilen veriler ile uygulanmıştır. Uygulamada; frekans ve olasılık faktörleri işletmeden elde edilen verilerden bulunurken, şiddet faktörü en kötü kaza senaryosu dikkate alınarak sübjektif yaklaşımla belirlenmiştir.

Oturakçı, Dağsuyu ve Kokangül (2015), FKY’de ihtimal ve frekans skalalarında değişiklik yaparak tehlikelere karşı farkındalığı artırmaya çalışmışlardır. Klasik yöntemde aynı risk skoruna sahip tehlikelerin, önerilen yöntemle öncelikleri belirlenmiştir.

Birgören (2017), FKY ile yapılan risk değerlendirmesi uygulamalarında faktörlerin belirlenmesinde 6 adet problem olduğunu belirterek, bunlar için çözüm önerileri sunmuştur. Problemler arasında şiddet faktörünün tahminin zorluğu belirtilmiş, geçmiş kaza istatistikleri yoksa veya geçmişte kaza yaşanmadıysa, yapılacak şiddet tahminlerinin hatalı değerlendirmeye neden olacağı ifade edilmiştir.

Kokangül, Polat ve Dağsuyu (2017), FKY ve AHP yöntemini birlikte kullanarak büyük çaplı bir imalat işletmesinde riskleri değerlendirmişlerdir. Tehlikeler AHP ile önceliklendirilmiş ve FKY ile değerlendirilmiştir.

Oturakçı ve Dağsuyu (2017) tarafından yapılan çalışmada, Fine Kinney tekniği için bulanık mantık kullanarak yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Buna göre, yöntem olasılık, şiddet ve frekans faktörleri üçgen üyelik fonksiyonu kullanılarak bulanık hale getirilmiştir. Geliştirilen yöntem, inşaat sektöründe faaliyet gösteren bir işyerinde uygulanmıştır. Uygulamada faktörler belirlenirken, her bir tehlike için uzman görüşleri dikkate alınmıştır.

Şengöz ve Merdan (2017) çalışmasında, 2010-2014 yılları arasında İzmir’de meydana gelen elektrik nedenli yangınlara ilişkin veriler kullanılarak Fine Kinney risk değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmada, olasılık ve frekans parametreleri verilerden elde edilmiştir.

Tunay ve Bozkurt (2018) tarafından, Orman İşletmesi için klasik FKY uygulanarak risk değerlendirmesi yapılmıştır. Uygulamada, risk skoruna ait faktörlerin nasıl belirlendiği belirtilmemiştir. Ersoy, Çelik, Yeşilkaya ve Çolak (2018), bir mermer ocağında yapılan blok üretim faaliyetleri için FKY ile risk analizi uygulayarak, elde edilen verileri çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Gri İlişkiler Analiz Yöntemine göre değerlendirmişlerdir.

Gül, Güven ve Güneri (2018), FKY ile Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) ve bir çok amaçlı optimizasyon problemi olan VIKOR’un bulanık türevini birleştirerek yeni bir

yöntem geliştirmişlerdir. Silah imalatı yapan bir işletmede gerçekleştirdikleri uygulamada, öncelikle işletmenin İSG yönetimi tarafından belirlenen 43 tehlike için FKY ile risk puanları belirlenmiştir. Ardından bulanık VIKOR ile tehlikeler kümelerine ayrılmış ve BAHF uygulanması ile risk faktörlerine ağırlıklar verilerek uzman görüşlerine dayalı hatalar azaltılmaya çalışılmıştır.

İlbahar, Karaşan, Cebi ve Kahraman (2018), FKY ile bulanık yöntemleri birleştirerek olasılık ve şiddet faktörlerini belirlemişlerdir. Ancak, frekans faktörü doğrudan uzman görüşleri ile tahmin edilmiştir.

Wang, Liu ve Qin (2018), uyguladıkları FKY’de, üç İSG uzmanı tarafından belirlenen faktörleri üçgen bulanık sayılara çevirerek, risk skoru belirlenmesindeki sübjektif unsurları arındırmaya çalışmışlardır.

2.6. Veri Madenciliği, Makine Öğrenmesi ve Kaza Tahmin Modelleri

2.6.1. Veri madenciliği ve makine öğrenmesi

Dünyada toplanan veri miktarı gün geçtikte daha da fazla artmaktadır. Öncesinde çöpe atılan birçok veri, günümüzde gelişmiş bilgisayar sistemleri sayesinde saklanmaktadır. Biriktirilen verilerin miktarı arttıkça, insanların bu verilerden bilgi edinmesi daha zor hale gelmiştir. Bu nedenle, toplanan verilerden nadiren yararlı bilgiler elde edilmektedir. (Witten ve Frank, 2000:2)

En temel tanımı ile “Veri Madenciliği”, büyük boyuttaki veride mevcut olan, öncesinde bilinmeyen ve anlamlı bilgileri sunan desenlerin ortaya çıkartılması sürecidir. Bu süreç, otomatik veya çoğunlukla yarı otomatik şekilde gerçekleştirilmektedir. Elde edilen anlamlı bilgiler, yeni ortaya çıkacak veriler için önemli çıkarımların yapılmasını sağlayacaktır. (Witten ve Frank, 2000:3)

“Makine Öğrenmesi” kavramının tanımı öncesinde, “öğrenme” kavramı irdelenmelidir. Öğrenme, sözlük tanımına göre; *çalışarak, deneyim kazanarak ve öğretilerek bilgi sahibi olmak* anlamına gelmektedir. Ancak bu tanım, bilgisayar öğrenmesi söz konusu olduğunda çeşitli eksikliklere sahiptir: bir makinenin “bilgi sahibi” olup olmadığını test etmek

oldukça zordur. Bilgisayar öğrenmesinde yer alan öğrenme kavramını “*gelecekte daha iyi performans gösterilmesi için verilerden bilgi elde edilmesi*” şeklinde ifade etmek daha doğru olacaktır. Buradan yola çıkarak “makine öğrenmesi”, verilerden elde edilen bilgilerin kullanılabilmesi yeteneği olarak tanımlanabilmektedir. Makine öğrenmesinde performans, bilgiden daha önemli bir yere sahiptir (Witten ve Frank, 2000:1-9).

Makine öğrenmesi, veriden edindiği deneyime göre güncellediği bir algoritmaya sahiptir. Bu sebeple, makine öğrenmesine veriden ortaya çıkan deneyime göre yeni bir algoritma meydana getirme tekniği de denilebilmektedir. Makine öğrenmesi, veri madenciliği ve diğer öğrenme yöntemlerini kullanmaktadır ve öğrenme verisi ile test verisi olmak üzere iki farklı veri kümesi üzerinde çalışma yapmaktadır (Educba, 2018)

Yukarıda belirtilen kavram tanımlarına göre, iş kazası verileri üzerinde yapılacak analizlerde; veri madenciliği yöntemleri ile anlamlı sonuçlar ortaya çıkarılabilirken, makine öğrenimi ile kaza verilerinin bilgisayara öğretilmesi ile ileride meydana gelebilecek kazaları en yüksek performans ile tahmin edebilecek bir algoritma geliştirilebilecektir.

Makine öğreniminde kullanılan algoritmalar, veri madenciliği ile istatistiksel yöntemleri kapsamaktadır. Kaynaklarda yer verilen başlıca makine öğrenim algoritmalar şu şekilde sıralanabilir:

- Karar Ağacı Öğrenmesi
- Kümeleme Yöntemleri
- Yapay Sinir Ağları
- Bayes Öğrenmesi
- Olay Öğrenmesi (k-enyakın komşu öğrenmesi, ağırlıklı regresyon)
- Genetik Algoritma
- Kurallar Kümesi Öğrenmesi
- Analitik Öğrenme

Metal sektöründe risklerin derecelendirilmesi için oluşturulan kaza tahmin modelinde “Yapay Sinir Ağları” Kullanılmıştır. Bu nedenle makine öğrenim algoritmalarından, Yapay Sinir Ağları hakkında detaylı bilgi bir sonraki alt bölüm 2.6.2.’de verilmiştir.

2.6.2. Yapay sinir ağıları

Yapay sinir ağıları (YSA), sinir sisteminden etkilenecek geliştirilmiştir. Sinir sisteminde; hücreler birbirleri ile sinir kavşakları aracılığıyla iletişim kurarlar. Bir sinir hücresi işlediği bilgileri aksonlar ile diğer hücrelere gönderirler. Aynı şekilde yapay sinir ağlarında, dışarıdan gelen bilgiler bir toplama fonksiyonu ile toplanır ve aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek çıktıyı üretilen ağı bağlantılarının üzerinden diğer hücrelere gönderilir. YSA’da farklı toplama ve aktivasyon fonksiyonları vardır. Ağları birbirlerine bağlayan bağlantıların değerlerine ağırlık değerleri denmektedir. Proses elemanları üç katman halinde bir araya gelerek ağı oluştururlar. Bu katmanlar; Girdi katmanı, Ara katmanlar, Çıktı katmanıdır. Bilgiler YSA’ya girdi katmanından iletilir. Bilgi, ara katmanlarda işlenerek çıktı katmanına gönderilirler. Bilgi işlemenin anlamı ise, ağa gelen bilgilerin ağı ağırlık değerlerini kullanılması vasıtasıyla çıktıya dönüştürülmesidir. Ağı girdiler için doğru çıktıları üretebilmesi için ağırlıkların doğru değerlerin atanmış olması gerekmektedir. Doğru ağırlıkların bulunması için yürütülen çalışmalara ağı eğitilmesi denmektedir. Ağırlık değerleri başlangıçta rastgele atanırlar. Daha sonra eğitim sırasında öğrenme verisi içerisinde yer alan her örnek ağa gösterildiğinde ağı öğrenme kuralına göre ağırlıklar güncellenir. Daha sonra öğrenilenler yeni bir örneğe sunularak ağı ağırlıkları yeniden güncellenir ve en doğru değerler bulunmaya çalışılır. Bu işlemler ağı öğrenme veri kümesindeki örneklerin tamamı için doğru çıktılar üretinceye kadar tekrarlanır. Bu sağlandıktan sonra YSA test veri kümesindeki örnekler ağa gösterilir. Eğer ağı test setindeki örneklerle doğru cevaplar verirse ağırlıkların uygun değere ulaştığı dolayısıyla ağı eğitildiği kabul edilmektedir. Ağı ağırlıkları belirlendikten sonra her bir ağırlığın ne anlama geldiği bilinmemesi nedeniyle, yapay sinir ağlarına “kara kutu” yakıştırması yapılmaktadır. YSA’da belirlenen ağırlıkların ne anlama geldikleri bilinmemektedir. Ancak, YSA’nın girdiler hakkındaki kararını bu ağırlıkları kullanarak vermesi sebebiyle, zekâsının bu ağırlıklarda biriktirdiği söylenebilmektedir. Ağı bir olayı en yüksek performansta öğrenmesi o olay için en doğru YSA modelini seçmekle mümkündür (Öztemel, 2012:57-58).

YSA’nın tarihsel gelişiminde yer alan yapıtaşları şu şekilde belirtilebilmektedir. YSA konusundaki ilk çalışma 1943 yılında Warren McCulloch And Walter Pitts tarafından yapılan nörolojik ağıdır. 1951 yılında, Marvin Minsky tarafından *Snark* isimli nöro-bilgisayar geliştirilerek, ağda yer alan ağırlıkların otomatik olarak hesaplanması

sağlanmıştır. 1965 yılında Nils Nilsson, YSA konusundaki gelişmeleri içeren bir kitap hazırlamıştır. 1973 yılında, Christoph von der Malsburg tarafından doğrusal olmayan biyolojik olarak uyarlanmış model geliştirilmiştir. John Hopfield, 1985 yılında bir optimizasyon modeli olan gezgin satıcı problemi için hopfield ağını geliştirmiştir. 1986 yılında ise ilk olarak geri yayılım hatası (*backpropagation error*) üzerine çalışma yapılmıştır (Kriesel, 2007:9-13).

YSA'nın kullanılmasının uygun olduğu problemler şu şekilde belirtilmiştir (Mitchell, 1997:85):

- Örneklerin birçok özellik (değişken) vektörüne sahip verilerden oluştuğu problemler,
- Hedef fonksiyonun kesikli, kesiksiz veya kesikli ve kesiksiz olduğu problemler,
- Eğitim verilerinde hataların olduğu problemler,
- Analiz için yeterli zamanın bulunduğu problemler,
- Öğrenilen hedef fonksiyonunun hızlı değerlendirmesine ihtiyaç bulunan problemler,
- Öğrenim fonksiyonuna ihtiyacın duyulmadığı problemler.

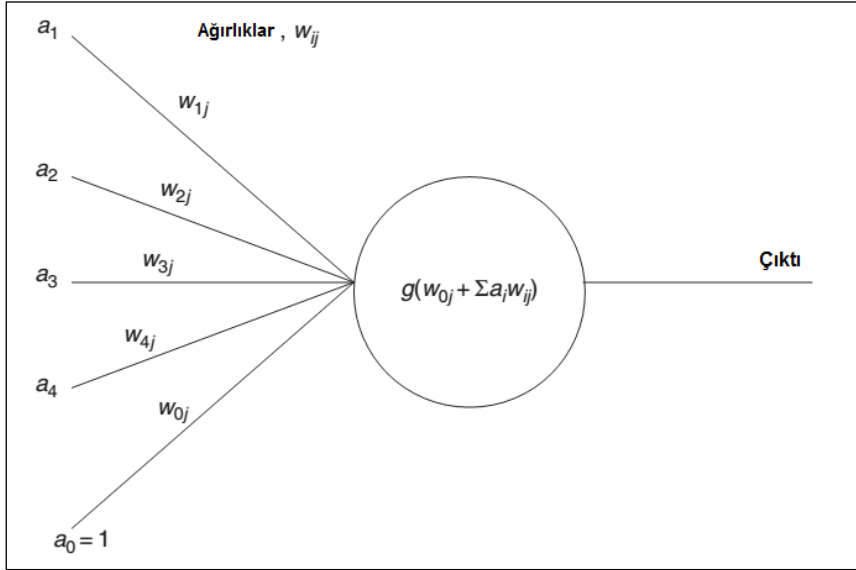
YSA özellikle iki çeşit ağ üzerinde yoğunlaşmıştır: bunlardan birincisi ileri beslemeli çok katmanlı ağlar, ikincisi ise Hopfield ağlarıdır (Elmas, 2003:25).

İleri beslemeli çok katmanlı YSA

İleri beslemeli çok katmanlı YSA, tahmin modellerinde çoğunlukla kullanılan ağıdır. Bu tür ağın kullanılmasının en önemli avantajı verilerin modellenmesinde ağın ağırlıklarının geniş bir esnekliğe sahip olmasıdır. Bu özelliği nedeniyle doğrusal ve doğrusal olmayan değişkenlerin sınıflandırılması için uygundur (Lavine ve Blank, 2009).

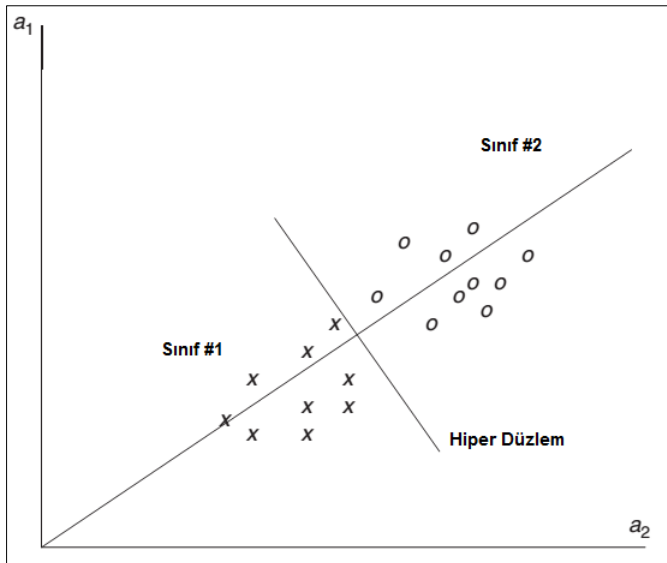
Ağ ile ilgili bilgi vermeden önce perceptron (algılayıcı) hakkında bilgi verilmelidir. Perceptron, biyolojik sinir ağındaki nöronun yapay sinir ağındaki karşılığıdır. Perceptron, YSA'nın en temel birimidir. Sinir ağının fonksiyonunu anlamak, perceptronun işlevsel karakteristiğini anlamak ile mümkündür. Perceptron işlevi, ağırlıklı girdilerin toplamını kullanan fonksiyon ile gerçekleştirilmektedir. Doğrusal olmayan bir fonksiyon olan “transfer fonksiyonu”, perceptronun ağırlıklara sahip girdilerden çıktıları oluşturmada kullanılmaktadır. Perceptronun şematik olarak gösterimi Şekil 2.2.'de verilmiştir.

Şekilde 2.2.'de verilen *Perceptron_j* işlevi; “ a_i ” girdi değişkenleri ile “ w_{ij} ” ağırlıklarının lineer bileşiminin, “ w_{0j} ” yanlı ağırlığı ile toplamından oluşan “ g_j ” *sigmoid* transfer fonksiyonunu içermektedir (Lavine ve Blank, 2009).



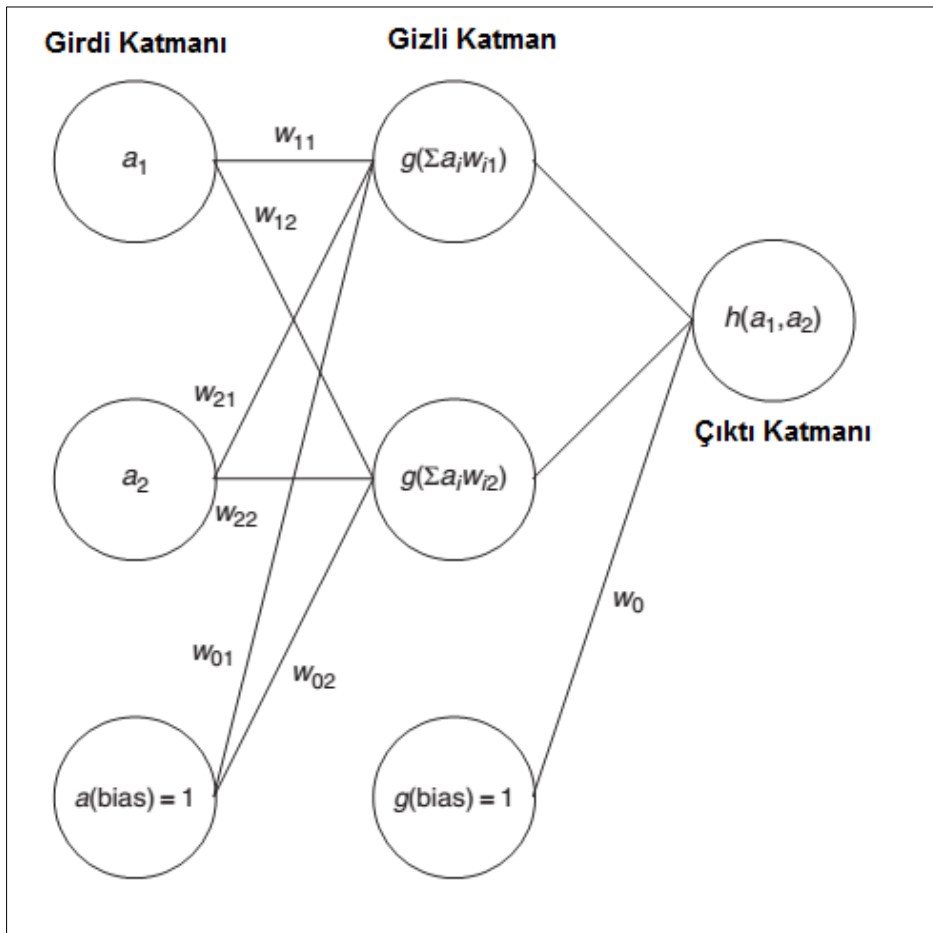
Şekil 2.2. Yapay sinir ağı perceptron işlevi (Lavine ve Blank, 2009).

Perceptron yalnızca çıktıların doğrusal olarak ayrılabilirdiği (sınıf:0/1 gibi) sınıflandırma problemlerinin çözümü için uygundur. Diğer bir deyişle bu tür problemler, hiper düzlemde iki boyutlu uzaya ayrılabilen problemlerdir. Bu tür problemlere ait örnek bir uzay grafiği, Şekil 2.3.'de verilmiştir (Lavine ve Blank, 2009).



Şekil 2.3. Perceptron örnek uzayı (Lavine ve Blank, 2009).

İkiden fazla boyuta sahip problemler ise çok katmanlı perceptronlarla modellenmektedir. Çok katmanlı bir Perceptron örneği ise Şekil 2.4.'de verilmiştir. Şekilde verilen Perceptron işlevinde; girdi katmanı sadece “a” girdi değişkeni vektörünü içermektedir. Gizli katman perceptronları, gizli katman ağırlıkları ile hiper düzlem testlerini gerçekleştirmektedir. Çıktı katmanı ise hiper düzlem testlerine göre sınıflandırmayı yapmaktadır (Lavine ve Blank, 2009).



Şekil 2.4. İki girdi düğümü, iki gizli katmanı ve bir çıktı düğümüne sahip çoklu perceptron (Lavine ve Blank, 2009).

Çok katmanlı perceptronun optimizasyonu, ağırlıklı ağ bağlantılarının doğrusal olmayan optimizasyonuna eşittir. Gizli katmana sahip, sigmoid transfer fonksiyonlu ve tek çıktı katmanlı bir ağ örnek olarak verilebilir. Bu durumda; “h” çıktı düğümünün çıktı değeri, gizli katmandaki “m” düğümünün ağırlığı “ w_j ” ve yanlı ağırlık “ w_0 ” değerleriyle Eş. 2.2.’de belirtildiği gibi ifade edilmektedir (Lavine ve Blank, 2009).

$$h = w_0 + \sum_{j=1}^m w_j g_j(x_j) \quad (2.2)$$

Bununla birlikte, “ g_j ” sigmoid transfer fonksiyonu ise Eş. 2.3.’de belirtildiği şekilde ifade edilebilir (Lavine ve Blank, 2009).

$$g_j(x_j) = \frac{1}{1 + e^{-x_j}} \quad (2.3)$$

Gizli katmanda yer alan “ j ” düğümünün girdi değeri “ x_j ” ise, “ s ” adet ağırlıklı girdi değerinin doğrusal birleşimi ile bulunduğu eşitlik ise Eş. 2.4’de verilmiştir (Lavine ve Blank, 2009).

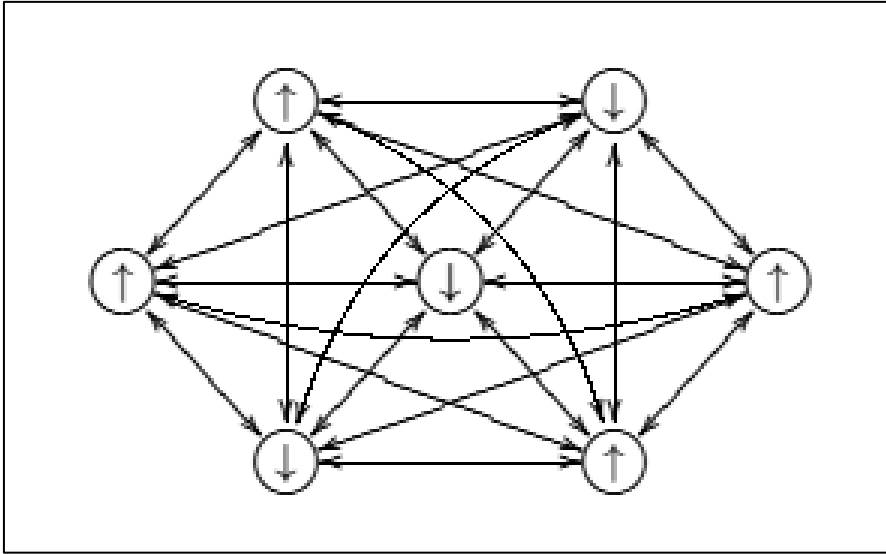
$$x_j = w_{0j} + \sum_{i=1}^s a_i w_{ij} \quad (2.4)$$

Çok katmanlı YSA, geri yayılım (*backpropagation*) algoritması adı verilen bir dereceli azalma (*gradient descent*) algoritması ile ağ çıktıları ile gerçek çıktı değerleri arasındaki kare hata değerini en aza indirmeye çalışır. Bu şekilde algoritmanın her bir adımında, ağırlıklar güncellenerek optimize edilmeye çalışılır. Her bir adımdaki ağ çıktısı ile gerçek çıktı arasındaki hata değeri vektörü olan “ E ” ise; “ d ” örneğinin “ D ” veri kümesi içerisinde yer aldığı, “ k ” çıktı/hedef değerinin de “çıkıtlar” kümesi içerisinde yer aldığı ve “ o_{kd} ” ağın çıktı değerini, “ t_{kd} ” hedef değerini belirttiği durumda, Eş. 2.5.’de verilen eşitliğe göre hesaplanmaktadır (Mitchell, 1997:97).

$$E(\vec{w}) \equiv \frac{1}{2} \sum_{d \in D} \sum_{k \in \text{çıkıtlar}} (t_{kd} - o_{kd})^2 \quad (2.5)$$

Hopfield YSA

Hopfield YSA, temelini manyetik alan teorisinden almaktadır: her parçacık birbiri ile iletişim içerisinde olarak enerji fonksiyonunun minimum değerine ulaşabilir. Böylece tüm nöronlar dönerek diğerlerini de dönmeye teşvik eder. Parçacıkların minimum enerji değerine ulaştığı gibi, nöronlarda minimum hata değerine bu şekilde ulaşırlar (Kriesel, 2007:151-152). Hopfield YSA’nın örnek çizimi Şekil 2.5.’de verilmiştir.



Şekil 2.5. Hopfield yapay sinir ağı (Kriesel, 2007:152)

2.6.3. Kaza tahmin modelleri

Kaza tahmini, elde bulunan kaza verileri ve incelemelerine göre güvenlik durumunun tahmin edilmesidir. Kaza tahmininin iki önemli amacı vardır: bunlardan birincisi kaza eğiliminin belirlenmesi, ikincisi ise potansiyel tehlike kaynaklarının belirlenmesidir. Sık meydana gelen kazalar nedeniyle, her iki amaç oldukça öneme sahiptir (Zheng ve Liu, 2009)

Kaza tahmininde kullanılan metotlar, istatistiksel yöntemlere ve makine öğrenim algoritmalarına dayanmaktadır. Verilere en uygun metodun belirlenmesiyle belirlenecek kaza tahmin modeli, geçmiş kaza verilerinden elde edilecek bilgileri kullanarak işyerlerinde mevcut olabilecek tehlike kaynaklarının belirlenmesini, bertaraf edilmeyen tehlike kaynakları sonucu ortaya çıkabilecek olası risklerin şiddeti tahmin edilerek risklerin derecelendirilmesini sağlayacaktır.

Kaza tahmin metotları üzerine Zheng ve Liu (2009) tarafından yapılan kapsamlı bir araştırma çalışmasında, metotların kantitatif ve kalitatif olarak ikiye ayrılmasına rağmen, kalitatif yöntemlerin uygulanabilirliği oldukça az olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, kullanılan temel kantitatif yöntemler; senaryo analizi, regresyon analizi, zaman serileri, markov zinciri, grey modeli, yapay sinir ağları, bayes ağları şeklinde yedi başlık altında toplanmıştır.

Zheng ve Liu (2009) tarafından yapılan çalışma kapsamında, yedi kantitatif kaza tahmin metodu için belirtilen kullanım amaçları, avantajları ve dezavantajları Çizelge 2.9.'da özetlenmiştir.

Çizelge 2.9. Farklı kaza tahmin metotlarının/modellerinin kıyaslanması (Zheng ve Liu, 2009)

Metot/ Model	Tahmin Aralığı	Amaç/Gereksinim	Avantajları	Dezavantajları
Senaryo Analizi	Kısa – Uzun Dönem	Alternatif neticeler istendiğinde uygundur.	Aynı zamanda kalitatif bir yöntemdir, kaza tahminleri zamanında yapılarak önlemlerin hızlı alınması sağlanır.	Başarısı analizi yapan uzmanın tecrübesine bağlıdır.
Regresyon Analizi	Orta - Kısa Dönem	Belirsizliğin olmadığı uygun dağılıma sahip geniş veri kümesi bulunduğunda uygundur.	Nispeten olgunlaşmış bir metottur, birçok alanda kullanılır.	Tahmin kalitesi örnek büyüklüğüne ve bütünlüğüne bağlıdır.
Zaman Serileri	Kısa Dönem	Bağımlı değişkenin zamanla farklılaştığı durumlarda uygundur.	Belirtilmemiştir.	Kaza hakkında kapsamlı bir açıklama yapmaz, orta-uzun dönem tahminde ciddi tahmin hataları oluşur. Veri rassal ve doğrusal değilse uygulanamaz.
Markov Zinciri	Kısa - Uzun Dönem	Eğilim içermeyen rassal dalgalanmaların bulunduğu verilerde uygundur.	Rassal dalgalanmaya sahip verilerde başarılıdır.	Veride Markov özellğe ihtiyaç duyar.
Grey Modeli	Orta – Kısa Dönem	Kaza verilerinin yetersiz olduğu ve üstel dağılıma sahip verilerde uygundur.	Yetersiz verilerde başarılıdır.	Diferansiyel eşitliğin parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan fonksiyon ve türevin aynı zaman noktasında olmaması, hatayı oldukça artırır.
YSA	Kısa – Uzun Dönem	Karmaşık doğrusal olmayan verilerde uygundur.	Doğrusal olmayan modelleme, bireysel organizasyon ve çalışma. Model verileri öğrenerek uyarlanır.	Çalışma süreci esnek değildir, gizli katmanda yer alan perceptronları yorumlanamaz.
Bayes Ağları	Kısa – Uzun Dönem	Doğrusal olmayan belirsiz sistemler için uygundur.	Çalışma süreci esnektir, model yorumlanabilir, değişkenlerin ilişkisi ve yapısı veriden öğrenilir.	Ağ yapısı ile ilgili detaylı bilgi birikimi gerekir, dinamik mekanizmaya sahip değildir.

2.6.4. Veri madenciliği, makine öğrenmesine dayalı kaza analizleri ve kaza tahmin modelleri uygulamalarına yönelik literatür araştırması

Kaza tahmini üzerine yapılan çok az çalışmada iş kazaları dikkate alınmış, çoğunlukla trafik kazaları incelenmiştir. Chang (2005), otoyol kaza frekanslarını tahmin etmek üzere yaptığı çalışmada YSA ile negatif binom regresyon yöntemlerinin kıyaslamasını yapmış, YSA'nın daha başarılı tahmin sonuçlarını verdiğini belirtmiştir. Trafik kazaları için oluşturulan kaza tahmin metotlarının analizi üzerine bir çalışma Akgüngör ve Doğan (2010) tarafından yapılmıştır.

Zheng ve Liu (2009), 7 kaza tahmin metodunu detaylı bir şekilde incelemişler ve tek bir metot kullanmak yerine, birleşik modeller kullanılarak tahmin hatalarının azaltılabileceğini belirtmişlerdir. Bununla birlikte, özellikle yapay sinir ağları ve grey metodu gibi yöntemlerin bir arada kullanıldığı hibrit yöntemlerin, doğrusal olmayan kaza verilerinde daha iyi sonuçlar ortaya koyduğu belirtmiştir. Yazarlar inceledikleri metotların hangi kaza türü için (iş kazaları, çevresel kazalar, trafik kazalar, vb.) daha yüksek performansta tahmin sonuçları verdiğine dair değerlendirme yapmamışlardır.

Carnero ve Pedregal (2010), İspanya'da meydana gelen hafif yaralanmalı, ciddi yaralanmalı ve ölümlü iş kazaları verilerini analiz ederek, ileriye dönük olarak bu şiddetlere sahip iş kazalarını belirlemek üzere kaza tahmin modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada kaza tahmin modeli, zaman serilerini genel eğilim, mevsim ve çevrimsel bileşenlere bölen bir tür zaman değişimli çoklu regresyon modeli olan Gözlemlenmeyen Bileşenler Modeli ile ortaya konulmuştur.

Ceylan ve Avan (2012) çalışmalarında, SGK iş kazası verilerini kullanarak yapay sinir ağları temelinde Türkiye'de 2025 yılına kadar farklı senaryolara göre toplam iş kazası, ölümlü iş kazası ve sürekli iş göremezlik tahmininde bulunmuşlardır.

Silva ve Jacinto (2012), iş kazaları ile ilgili araştırmaların çoğunlukla genel belirleyici istatistik ile verilerin açıklanması ve sınıflandırılması üzerine olduğunu belirtmiştir. Ayrıca yaptıkları çalışmada, Portekiz'de 2005 ile 2007 yılları arasındaki madencilik sektörüne ilişkin verilere çok değişkenli veri analizi yöntemleri uygulayarak, kazaya neden olan en yüksek ilgiye sahip faktörleri bulmaya çalışmışlardır.

Herrero, Mariscal, Rodriguez ve Ritzel (2012) tarafından yapılan çalışmada, İspanya’da bulunan 11.054 çalışan için anket yöntemi ile araştırma yapılmıştır. Ankette, işyerindeki hijyen koşulları, ergonomik koşullar, iş yükü, fiziksel yüklenme, psikolojik koşullar ve iş kazaları arasındaki ilgi sorulmuştur. Anket verilerine göre bayes ağı oluşturulmuş, fiziksel yüklenme ile psikolojik koşulların iş kazalarında etkili olduğu ortaya konulmuştur.

Nenonen (2013), Finlandiya’da 2006-2007 yılları arasında meydana gelen kayma, tökezleme ve düşmeye bağlı iş kazası istatistik veri tabanının analizini veri madenciliği yöntemleri kullanarak yapmış, kazaların gerçekten bu faktörlerden kaynaklanıp kaynaklanmadığı ile meydana gelen kazaların sonuçları hakkında çıkarımda bulunmuştur. Çalışmada, veri madenciliği yöntemlerinin kullanılarak yapılan çalışmalarda çoğunlukla birleşim kuralları ve karar ağaçlarının kullanıldığını belirtilerek, aynı yöntemler kullanılarak veriler analiz edilmiştir.

Cheng, Yao ve Wu (2013) tarafından 2000-2010 yılları arasında Tayvan’da petro-kimya endüstrisinde meydana gelen 349 adet büyük endüstriyel kaza vakası CART (sınıflandırma ve regresyon ağacı) yöntemi ile analiz edilerek (sebeup-sonuç ilişkileri çıkarılarak), kazalara neden olan kurallar dizisi ortaya çıkarılmıştır. CART yöntemi, sürekli bağımlı değişkenlerin regresyon yöntemi ile kategorik belirleyici değişkenlerin ise sınıflandırma yöntemi ile belirlenmesini içermektedir. Çalışmada, veri madenciliği kullanılarak kaza verilerinin sınıflandırmasında çoğunlukla CART yönteminin kullanıldığı belirtilmiştir.

Enez, Topbas ve Acar (2014) tarafından yapılan çalışmada; Trabzon Orman Müdürlüğüne bağlı Trabzon, Gümüşhane, Rize illerinde çalışan orman işçilerine yöneltilen anketler aracılığıyla ve serbest ölçüm yöntemi ile toplanan antropometrik veriler üzerinde kaza analiz çalışması yapılmıştır. Toplanan verilerde işçilerin kullanmış oldukları ekipmanlar, çalışanların kişisel alışkanlıkları ve antropometrik özellikleri değişkenleri oluşturmuştur. Kaza tahmini için SPSS programı aracılığıyla lojistik regresyon kullanılmıştır.

Koç (2014) tarafından yapılan çalışmada, inşaat faaliyetleri sırasında gerçekleşen iş kazalarından hayati önem taşıyan riskler, iş kazası denetim raporlarından elde edilen verileri kullanılarak hata ağacı ve karar ağacı yöntemleriyle analiz edilmiştir. Sonrasında, inşaat faaliyetlerinde hayati risk taşıyan unsurlarının denetimine ilişkin öneriler geliştirilmiştir.

Hajakbari ve Minaei-Bidgoli (2014) tarafından; İran'ın Kum şehrinde 1992-2011 yılları arasında meydana gelmiş iş kazalarına ait veriler analiz edilmiştir. Analizlerde son iki kaza tarihleri arasındaki süre, son bir yıl içerisinde yaralanmalı iş kazası sayısı (kaza frekansı), kaza sonucu iş günü kaybı, tekrar kaza olma olasılığı ve parasal kayıp şeklinde 5 değişken kullanılmıştır. Ardından her işyerine ait kaza verileri, k-ortalama kümeleme metodu ile kategorize edilmiştir. Sonrasında oluşan her küme, karar ağacı yöntemi ile analiz edilerek risk kategorisi belirlenmiştir. Geliştirilen yöntem kullanılarak, 2010 ve 2011 yıllarına ait veriler analiz edilmiş ve 2012 yılında periyodik olarak denetim yapılacak işyerleri belirlenmiştir.

Alaeddinoğlu, Sincar ve Naralan (2015), YSA kullanarak geliştirdikleri modele, geçmişte yapılan risk değerlendirmesi sonuçlarını öğretmek, muhtemel risklere karşı ortaya çıkabilecek sonuçlar için uzman kişinin kararına yardımcı olacak bir yöntem önermiştir.

Bellamy ve diğerleri (2015) tarafından yapılan çalışmada; Hollanda iş teftiş kurulu tarafından incelenen (1988-2004 yılları arası) iş kazası raporlarını dikkate alarak, makinelerin hareketli aksamlarına temas ve yüksekten düşme gibi en yüksek riskli alanlar için risk oranlarını belirlemişlerdir. Ayrıca çalışanlara yöneltilen anketler ile tehlikeler sonucu ortaya çıkabilecek risklerin şiddetleri belirlenmiştir. Ardından topladıkları risk oranı ve şiddeti değerlerini geliştirdikleri bir eşitlikte kullanarak sektörlerde meydana gelebilecek ölümlü iş kazaları sayısını tahmin etmeye çalışmışlardır.

Dizdar ve Koçar (2018), metal sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikada, aday çalışanlara ait 7 yıllık bir dönem içinde meydana gelen 235 kaza tutanağından veri kümesi oluşturmuşlardır. Kaza tutanaklarından, kazanın meydana geldiği yıl, ay ve kaza sonrası işe dönüş süreleri belirlenmiştir. Ardından veriye YSA uygulanarak, iş kazalarının aylara göre frekansı tahmin edilmiş ve üst yönetim için karar desteği sağlanmıştır.

3. METOT

3.1. Kaza Verilerinin Tanımlanması

Çalışma kapsamında kullanılacak kaza verileri, mülga Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığından temin edilerek, İş Müfettişlerince, metal sektöründe faaliyet gösteren işyerlerinde 2012-2015 yılları arasında yapılan iş kazası incelemeleri sonucunda hazırlanan 165 adet iş kazası raporunun, tek tek incelenerek değerlendirilmesi sonucunda hazırlanmıştır. Bu kapsamda, öncelikle kaza verileri için değişkenler belirlenmiştir. Değişkenlerin belirlenmesinde; işyerlerine ilişkin istatistiki bilgiler, kazazedeye ilişkin bilgiler ve her bir denetimde kazanın ortaya çıkmasına neden olduğu tespit edilen noksanlıklar, diğer bir deyişle tehlikeli olaylar dikkate alınmıştır. Kaza verileri tablosunun oluşturulması için belirlenen değişkenler ve her bir değişkenin kapsamı aşağıda her bir başlık altında belirtilmiştir.

İstatistiki bilgiler (genel bilgiler) değişkenleri

1. Çalışan Sayısı: Kazanın meydana geldiği işyerinde, kaza incelemesinin yapıldığı tarihte mevcut olan çalışan sayısıdır. Çalışan sayılarının 1:0-9, 2:10-49, 3:50-99, 4:100'den fazla olmak üzere dört kategoriye ayrılarak veri tablosuna girilmiştir.
2. Tehlike Sınıfı: Kazanın meydana geldiği işyerine ait İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliğine¹ göre belirtilen "İşyeri Tehlike Sınıfıdır". Buna göre, işyeri tehlike sınıfları işyerine uygun olarak 1:Az Tehlikeli, 2:Tehlikeli ve 3:Çok Tehlikeli olarak üç kategoride veri tablosuna işlenmiştir.
3. İş Sağlığı ve Güvenliği Kurulu: Kazanın meydana geldiği işyerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Kurulları Hakkında Yönetmeliğe² göre iş sağlığı ve güvenliği kurulunun bulunup bulunmadığı hakkında bilgidir (1:İSG Kurulu Var, 2:İSG Kurulu Yok).
4. İş Güvenliği Uzmanı: Kazanın meydana geldiği işyerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetleri Yönetmeliği³ hükümlerine göre işyerinde iş güvenliği uzmanı bulunup bulunmadığı hakkında bilgidir (1:İş Güvenliği Uzmanı Var, 2:İş Güvenliği Uzmanı Yok).

¹ 26.12.2012 tarih ve 28509 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

² 18.01.2013 tarih ve 28532 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

³ 29.12.2012 tarih ve 28512 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

5. İşyeri Hekimi: Kazanın meydana geldiği işyerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetleri Yönetmeliğine göre işyerinde iş güvenliği uzmanı bulunup bulunmadığı hakkında bilgidir (1:İş Güvenliği Uzmanı Var, 2:İş Güvenliği Uzmanı Yok).
6. İşyeri Denetim Geçmişi: Kazanın meydana geldiği işyerinin, kaza öncesinde iş güvenliği denetiminden geçip geçmediğine ilişkin bilgidir (1:Denetim Görmemiş, 2:Denetim Görmüş).
7. İşyeri Ortam Ölçümü: Kazanın meydana geldiği işyerinde, kaza öncesinde fiziksel ve kimyasal risklere karşı işyeri kişisel ortam ölçümleri yapıp yapılmadığına ilişkin bilgidir (1:Yapılmamış, 2:Yapılmış).

Kazazedeye ilişkin bilgiler değişkenleri

8. İş Tecrübesi Yılı: Kazazedenin, iş kazasına uğradığı tarihte işyerindeki tecrübe yılıdır.
9. Kazazede Yaşı: Kazazedenin, iş kazasına uğradığı tarihteki yaşıdır.
10. İş Kazası Saati: Kazazedenin iş kazasının uğradığı saatin gün içerisinde dört kategoriye ayrılarak veri tablosuna girilmiştir (Sabah:06.01-12:00, Öğle:12:01-18:00, Akşam:18:01-24:00, Gece:00.01-06:00).
11. Öğrenim Durumu: Kazazedenin öğrenim durumu bilgisi dört kategoriye ayrılarak veri tablosuna işlenmiştir (1:İlk Öğrenim, 2:Orta Öğrenim, 3:Lise, 4:Yüksek Öğrenim).
12. Mesleki Eğitim: Kazazedenin Tehlikeli Ve Çok Tehlikeli Sınıfta Yer Alan İşlerde Çalıştırılacakların Mesleki Eğitimlerine Dair Yönetmelik¹ hükümleri kapsamında mesleki eğitim belgesine sahip olup olmadığına ilişkin bilgidir (1:Mesleki Eğitim Belgesi Yok, 2:Mesleki Eğitim Belgesi Var).
13. İşe Giriş İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi: Kazazedeye işe girişi esnasında iş sağlığı ve güvenliği eğitimi verilip verilmediğine ilişkin bilgidir (1:Eğitim Verilmemiş, 2:Eğitim Verilmiş).
14. Periyodik İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi: Kazazedeye işe girişi sonrasında periyodik olarak iş sağlığı ve güvenliği eğitimi verilip verilmediğine ilişkin bilgidir (1:Eğitim Verilmemiş, 2:Eğitim Verildi).
15. İşe Giriş Sağlık Muayenesi: Kazazedenin işe girişi esnasında sağlık gözetiminden geçirilip geçirilmediğine ilişkin bilgidir (1:Geçirilmiş, 2:Geçirilmemiş).

¹ 13.07.2013 tarih ve 28706 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir.

16. Periyodik Sağlık Muayenesi: Kazazedenin işe girişi sonrasında periyodik olarak sağlık gözetiminden geçirilip geçirilmediğine ilişkin bilgidir (1:Geçirilmiş, 2:Geçirilmemiş).

Kazaya sebep veren noksanlıklar hakkında bilgiler (tehlikeli olaylar) değişkenleri

17. Kullanılan İş Ekipmanı Hakkında Eğitim: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin¹ 11'inci maddesine göre kazazedeye, kaza anında kullanmış olduğu iş ekipmanı hakkında eğitim verilip verilmediğine ilişkin noksanlıktır (0:verildi/kaza ile ilgili değil, 1:verilmemiş).

18. Operasyon Noktasına Temas: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin Ek-1 2.8.1 maddesine göre kazazedenin kaza anında kullanmış olduğu iş ekipmanı hakkında tespit edilen noksanlıktır (0:temas tehlikesi yok, 1:temas tehlikesi var).

19. Hareketli Aksama Temas: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin Ek-1 2.8'inci maddesine göre kazazedenin kaza anında kullanmış olduğu iş ekipmanı hakkında tespit edilen noksanlıktır (0:temas tehlikesi yok, 1:temas tehlikesi var).

20. Bakım ve Onarım: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin 6/1-b maddesine göre kazazedenin kaza anında kullanmış olduğu iş ekipmanının bakımı hakkında tespit edilen noksanlıktır (0:bakımı var/kaza ile ilgili değil, 1:bakımı yapılmamış).

21. Parça Fırlaması Tehlikesi: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin Ek-1 2.5'inci maddesine göre kazazedenin kaza anında kullanmış olduğu iş ekipmanı hakkında tespit edilen noksanlıktır (0:parça fırlama tehlikesi yok/kaza ile ilgili değil, 1:parça fırlama tehlikesi var).

22. Çift El Kumanda Tertibatı: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin Ek-1 2.8'inci maddesine göre kazazedenin kaza anında kullanmış olduğu iş ekipmanı hakkında tespit edilen noksanlıktır (0:çift el kumanda tertibatı var/kaza ile ilgili değil, 1:çift el kumanda tertibatı yok).

23. Durdurma Sistemi: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin Ek-1 2.3'üncü maddesine göre kazazedenin kaza anında kullanmış olduğu

¹ 25.04.2013 tarih ve 28628 sayılı Resmi Gazetede Yayımlanarak Yürürlüğe Girmiştir.

iş ekipmanında acil durdurma sisteminin bulunmaması hakkında tespit edilen noksanlıktır (0:durdurma sistemi var/kaza ile ilgili değil, 1:durdurma sistemi yok).

24. İş Ekipmanının Sabitlenmesi: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin Ek-1 2.6'ncı maddesine göre kazaya sebep olan iş ekipmanının sabitlenmemesi hakkında tespit edilen noksanlıktır. (0:sabitlenmiş/kaza ile ilgili değil, 1:sabitlenmiş).

25. Havalandırma Sistemi: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin Ek-1 2.5.1'inci maddesine göre iş ekipmanından çıkan gaz, buhar, sıvı veya tozun kazaya neden olması durumunda tespit edilen noksanlıktır (0:havalandırma sistemi var/kaza ile ilgili değil, 1:havalandırma sistemi yok).

26. Ekipman Gösterge ve İkaz Donanımları: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin Ek-1 2.11'inci maddesine göre iş ekipmanında bulunan gösterge ve ikaz donanımlarının uygun olmamasının kazaya neden olması durumunda tespit edilen noksanlıktır (0:gösterge ve ikaz donanımı uygun/kaza ile ilgili değil, 1:gösterge ve ikaz donanımı uygun değil).

27. Sıcak Yüzeye Temas: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin Ek-1 2.10'uncu maddesine göre İş Ekipmanının yüksek veya çok düşük sıcaklıktaki parçalarına kazazedinin yaklaşmasını veya temasını önleyecek tedbirler alınmamış olması durumunda tespit edilen noksanlıktır (0:tedbir alınmış/kaza ile ilgili değil, 1:tedbir alınmamış).

28. Periyodik Kontrol: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin 7'nci maddesine göre kazazedinin kaza anında kullanmış olduğu iş ekipmanının periyodik kontrolü hakkında tespit edilen noksanlıktır (0:periyodik kontrolü yapılmış/kaza ile ilgili değil, 1: periyodik kontrolü yapılmamış).

29. İş Ekipmanının Ergonomisi: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin 9'uncu maddesine göre kazazedinin kaza anında kullanmış olduğu iş ekipmanında ergonomi prensipleri dikkate alınmaması durumunda tespit edilen noksanlıktır (0:ergonomi uygun/kaza ile ilgili değil, 1:ergonomi uygun değil).

30. Yangın, Parlama ve Patlama Tehlikesi: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin Ek-1 2.18'inci maddesi ile Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmeliğin¹ 5'inci maddesi

¹ 30.04.2013 tarih ve 28633 sayılı Resmi Gazetede Yayımlanarak Yürürlüğe Girmiştir.

kapsamında tespit edilen noksanlıktır (0:yangın, parlama ve patlama tehlikesi yok/kaza ile ilgili değil, 1: yangın, parlama ve patlama tehlikesi var).

31. Kimyasal Riskler: Meydana gelen kazada Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmeliğe¹ göre aykırılık tespit edilmesi durumunda belirlenen noksanlıktır (0:kimyasal risk yok/kaza ile ilgili değil, 1: kimyasal risk var).

32. Elektrik Tehlikesi: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin Ek-1 2.19'uncu maddesine göre elektrikle temasın kazaya neden olması durumunda tespit edilen noksanlıktır (0:elektrikle temas riski yok/kaza ile ilgili değil, 1: elektrikle temas riski var).

33. Kişisel Koruyucu Donanım (KKD): Meydana gelen iş kazasında Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmeliğin² 5'inci Maddesinde belirtildiği üzere kişisel koruyucu donanım kullanılmaması durumunda belirlenen noksanlıktır (0:KKD kullanılmış/kaza ile ilgili değil, 1: KKD kullanılmamış).

34. Depolama ve İstifleme: Meydana gelen iş kazasında 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 4/1-a maddesine göre uygun olmayan depolama ve istifleme yapılması durumunda tespit edilen noksanlıktır (0:Uygun İstifleme Yapılmış/kaza ile ilgili değil, 1: Uygun İstifleme Yapılmamış).

35. Sağlık ve Güvenlik İşaretleri: İş kazasında Sağlık ve Güvenlik İşaretleri Yönetmeliğine³ göre aykırılık tespit edilmesi durumunda belirlenen mevzuata aykırılıktır (0:Sağlık ve Güvenlik İşareti Var/kaza ile ilgili değil, 1: Sağlık ve Güvenlik İşareti Yok).

36. Basınçlı Kaplarda Güvenlik: İş kazasında basınçlı kaplar ile ilgili uygunsuzluk tespit edilmesi durumunda belirlenen noksanlıktır (0:Basınçlı Kap Uygun/kaza ile ilgili değil, 1: Basınçlı Kaptan Uygunsuzluk Var).

37. Uygun Ekipman: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin Ek-1 2.12'nci maddesine göre tasarım amacına uygun nitelikte ekipmanın kullanılmaması durumunda ortaya çıkan kazada tespit edilen noksanlıktır (0:uygun nitelikte ekipman/kaza ile ilgili değil, 1:ekipman uygun değil).

38. İş Ekipmanı Hakkında Talimat: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin 10'uncu maddesine göre kazazedeye kaza anında kullanmış olduğu iş ekipmanı hakkında güvenli kullanım talimatı verilmemesi durumunda tespit edilen noksanlıktır (0:talimat verilmiş/kaza ile ilgili değil, 1:talimat verilmemiş).

¹ 12.08.2013 tarih ve 28733 sayılı Resmi Gazetede Yayımlanarak Yürürlüğe Girmiştir.

² 02.07.2013 tarih ve 28695 sayılı Resmi Gazetede Yayımlanarak Yürürlüğe Girmiştir.

³ 11.09.2013 tarih ve 28762 sayılı Resmi Gazetede Yayımlanarak Yürürlüğe Girmiştir.

39. Yüksekten Düşme: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin Ek-2 4'üncü maddesine göre kazada yüksekten düşmeye karşı tedbir alınmamış olması durumunda tespit edilen noksanlıktır (0:yüksekten düşme tehlikesi yok/kaza ile ilgili değil, 1:yüksekten düşme tehlikesi var).

40. Dikkat ve Güvenlik: Meydana gelen kazada 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 19'uncu maddesine göre kazazedenin gereken dikkat ve özeni göstermediğinin anlaşılması durumunda tespit edilen noksanlıktır (0:dikkat ve özen eksikliği yok/kaza ile ilgili değil, 1:dikkat ve özen eksikliği var).

41. Risk Değerlendirmesi: Kazaya neden olan tehlikelin ve kaza riskinin risk değerlendirmesi dokümanında ele alınmamış olması durumunda tespit edilen noksanlıktır (0:risk değerlendirmesinde ele alınmış/kaza ile ilgili değil, 1:risk değerlendirmesinde tehlike ele alınmamış).

42. Denetim ve Gözetim: İş kazasında işveren tarafından 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 4/1-b maddesine göre denetim ve gözetim ödevinin yerine getirilmemiş olduğunun tespiti durumunda belirlenen noksanlıktır (0:denetim ve gözetim sağlanmış/kaza ile ilgili değil, 1:denetim ve gözetim sağlanmamış).

43. Kaldırma Araçlarında Güvenlik: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğine göre iş kazasında kaldırma araçları ile ilgili uygunsuzluk tespit edilmesi durumunda tespit edilen noksanlıktır (0:kaldırma araçları uygun/kaza ile ilgili değil, 1:kaldırma aracında/araçlarında uygunsuzluk var).

44. Kumanda Sistemi: İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliğinin Ek-1 2.1'inci maddesine göre kazazedenin kaza anında kullanmış olduğu iş ekipmanına ait kumanda sistemi ile ilgili tespit edilen noksanlıktır (0:kumanda sistemi uygun/kaza ile ilgili değil, 1:kumanda sistemi uygun değil).

Kaza sonucu

Kaza verilerini oluşturan değişkenler belirlendikten sonra, her bir kazanın sonucu (şiddeti) için kategoriler belirlenmiştir.

Buna göre kaza şiddeti için “4:hafif yaralanma”, “3:yaralanma”, “2:uzuv kaybı” ve “1:ölüm” başlıkları altında 4 kategori belirlenmiştir.

Kaza veri tablosunun oluşturulması

Metal sektöründe faaliyet gösteren işyerlerine ait 165 adet iş kazası inceleme raporunun değerlendirilmesi sonucunda, 193 kaza olayına ilişkin iş kazası veri tablosu, yukarıda verilen 44 değişken ve kaza sonucu kategorisine göre hazırlanmıştır. Kaza verilerinin yer aldığı nihai tablo EK-1’de sunulmuştur.

3.2. Kaza Verilerinin İncelenmesi

Bu bölümde, 193 adet kaza olayının ve 44 değişkenin yer aldığı ham veri tablosundan, anlamsız değişkenlerin çıkartılması ve gerekli düzenlemenin yapıldığı indirgenmiş veri tablosunun oluşturulması için yapılan çalışmalar belirtilmiştir.

3.2.1. Temel bileşenler analizi

Temel Bileşenler Analizi (TBA), değişkenler kümesinin doğrusal birleşimleri aracılığıyla varyans-kovaryans yapısını açıklayan bir araçtır. TBA’nın iki temel amacı vardır. Bunlardan birincil ve önceliklisi verilerin azaltılması, ikincisi ise verilerin yorumlanmasıdır. TBA’nın temel mantığında; veri kümesinde değişkenleri tanımlamak için “p” bileşene ihtiyaç olmasına rağmen, bunlardan “p” den küçük “k” kadarı temel bileşenin değişkenleri tanımlamak için yeterli olacaktır. Bu durumda, “k” kadar değişkende bulunan bilgi orijinal “p” kadar değişkende bulunan bilgiyi içerecektir. Böylece TBA ile “p” kadar değişken içeren “n” sayısında gözlem, aynı bilgiyi içeren “k” temel bileşene sahip “n” sayısında gözleme indirgenecektir (Johnson ve Wichern, 2007:430)

Bu kapsamda 193 kaza olayı (gözlem/örnek) ve 44 değişken içeren kaza veri tablosunda, sonraki aşamalarda yapılacak analizlerde kolaylık sağlamak üzere 193 gözlemin daha az sayıda anlamlı değişken (temel bileşen) ile yorumlanması için TBA uygulanmasına karar verilmiştir.

TBA uygulamasında, gerek arayüz kullanım kolaylığı gerekse de raporlamanın anlaşılabilirliği açısından Minitab 17.0 istatistik paket programı kullanılmıştır. Analize

başlamadan önce, öncelikle kaza veri tablosu içerisinde yer alan metin içeren veriler rakamsal verilere dönüştürülmüştür.

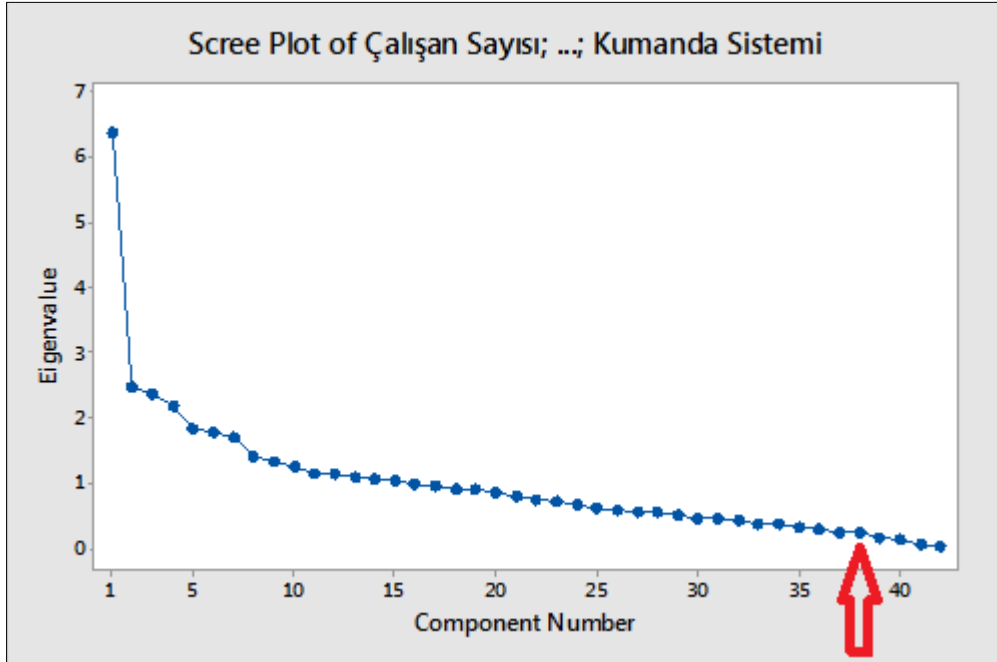
“Havalandırma Sistemi” ve “Basınçlı Kaplarda Güvenlik” değişkenleri anlamlı olmaması nedeniyle (verilerin aynı olması ve varyansının 0’a eşit olması nedeniyle) program tarafından uyarılmıştır. Bu nedenle iki bileşen tablodan çıkartılmıştır. Sonuç olarak veri tablosunda yer alan bileşen sayısı 42’ye düşmüştür. Kaza verilerine Minitab programı kullanılarak uygulanan TBA sonucunda elde edilen Minitab korelasyon matrisi çıktısı Çizelge 3.1.’de verilmiştir. Çizelge 3.1.’de verilen korelasyon matrisinde; her bir bileşenin özdeğeri, toplam özdeğer içindeki oranı ve kümülatif oranı verilmiştir. Buna göre, ilk 38 bileşen kümülatif özdeğerinin %99’una sahiptir. Diğer bir deyişle, 38 bileşen ile verilerin %99’u yorumlanabilmektedir.

Çizelge 3.1. Temel bileşenler analizi korelasyon matrisi özdeğer analizi

Eigenanalysis of the Correlation Matrix										
Eigenvalue	6,3603	2,4527	2,3530	2,1844	1,8361	1,7648	1,7037	1,4012	1,3150	1,2371
Proportion	0,151	0,058	0,056	0,052	0,044	0,042	0,041	0,033	0,031	0,029
Cumulative	0,151	0,210	0,266	0,318	0,362	0,404	0,444	0,478	0,509	0,538
Eigenvalue	1,1440	1,1369	1,0816	1,0695	1,0337	0,9938	0,9504	0,9152	0,8906	0,8587
Proportion	0,027	0,027	0,026	0,025	0,025	0,024	0,023	0,022	0,021	0,020
Cumulative	0,566	0,593	0,618	0,644	0,668	0,692	0,715	0,737	0,758	0,778
Eigenvalue	0,8033	0,7571	0,7164	0,6636	0,6102	0,5916	0,5495	0,5465	0,5182	0,4599
Proportion	0,019	0,018	0,017	0,016	0,015	0,014	0,013	0,013	0,012	0,011
Cumulative	0,797	0,815	0,832	0,848	0,863	0,877	0,890	0,903	0,915	0,926
Eigenvalue	0,4431	0,4139	0,3846	0,3641	0,3244	0,2865	0,2528	0,2321	0,1589	0,1428
Proportion	0,011	0,010	0,009	0,009	0,008	0,007	0,006	0,006	0,004	0,003
Cumulative	0,937	0,947	0,956	0,964	0,972	0,979	0,985	<u>0,990</u>	0,994	0,998
Eigenvalue	0,0596	0,0381								
Proportion	0,001	0,001								
Cumulative	0,999	1,000								

TBA’da önemli bir soru da, kaç tane bileşenin elde tutulacağıdır. Bunun kesin bir yanıtı yoktur. Yamaç eğrisi, bu konuda kullanılan önemli bir görsel araçtır. Yamaç eğrisinde; özdeğer (eigenvalue) “y” ekseninde, bileşenler ise “x” ekseninde konumlanır. Uygun sayıda bileşeni belirlemek için, grafikte yer alan eğride düzleşmenin meydana geldiği ve

devam ettiği nokta bulunur. Belirlenen bu nokta kaç bileşenin veriyi tanımladığını belirtmektedir (Johnson ve Wichern, 2007:445). Minitab programı kullanılarak elde edilen yamaç eğrisi, Şekil 3.1’de yer alan grafikte belirtilmiştir.



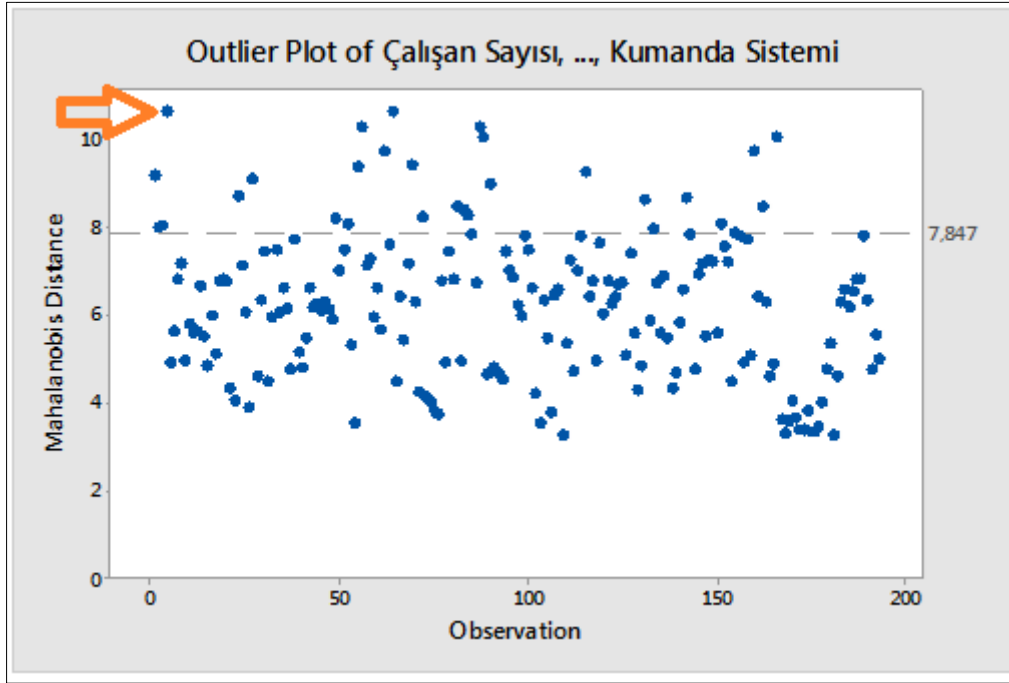
Şekil 3.1. Kaza verileri yamaç eğrisi

Şekil 3.1.’de yer alan kaza verileri yamaç eğrisinde görüleceği üzere, eğride düzleşme korelasyon matrisini doğrular şekilde 38’inci noktadan itibaren başlamaktadır. Böylece, yamaç eğrisi analizine göre verinin 38 değişken ile tanımlandığı ortaya çıkmıştır. Bu durumda, TBA sonucunda veri tablosunda 38 değişken ile çalışılabileceği anlaşılmıştır. Ancak, analiz sonucunda hangi değişkenlerin tablodan çıkartılabileceğine ilişkin bir bilgi elde edilememiştir. Bu bilginin elde edilebilmesi için, faktör analizinin uygulanması gerekmektedir.

3.2.2. Aykırı veri analizi

Veri kümesi içerisinde bulunan ve aykırı veri (*outlier*) olarak tanımlanan gözlemleri belirlemek ve kümeden çıkartmak için, kaza veri tablosundan Minitab 17.0 programı ile aykırı veri grafiği çizilmiştir (Şekil 3.2). Yapılan aykırı veri belirleme analizinde, 4 numaralı kaza verisinin ilgisiz olduğu anlaşılmıştır. Bu durum, aşağıda verilen grafikte de gösterilmiştir. Bu verinin (4’üncü satırda bulunan) sonraki değerlendirmelerde tablodan

çıkartılması, veri geneli ve toplam veri kümesindeki yer alan bilginin bütünlüğünü korumak için gerekmektedir. Bu durumda; kaza tahmin modelini çalışmak için 4 numaralı veri çıkartılmış, toplam 192 adet kaza verisi ile çalışılmıştır.



Şekil 3.2. Aykırı veri grafiği

3.2.3. Faktör analizi

Faktör analizi, ölçülebilen ve gözlemlenebilen değişkenlerin, ortak varyansa sahip görünemeyen daha az değişkene indirilebilme düşüncesinde hareket etmektedir. Faktör analizi, değişken boyutunun azaltılması olarak da bilinmektedir (Yong ve Pearce, 2013).

Faktör analizinin temel amacı, birçok değişken arasında kovaryans ilişkisi bulunması durumunda, gözlemlenmeyen faktör adı verilen rassal niceliğin ortaya konulmasıdır. En basit şekilde faktör modeli, değişkenlerin korelasyonlarına göre gruplanabileceği varsayımını ortaya koymaktadır. Böylece, belirli bir grupta kendi arasında oldukça yüksek korelasyona sahip değişkenler, diğer grupta ise kendi arasında küçük korelasyona sahip değişkenler ortaya çıkmaktadır. Faktör Analizi, TBA'nın ileri bir aşamasıdır. Ancak, faktör analizi ile ortaya konulan bilgi daha ayrıntılıdır. Faktör Analizi, değişkenler arasındaki kovaryans yapısını inceleyerek bu değişkenler arasındaki ilişkiyi daha az sayıda faktör adı verilen değişkenler ile açıklamaktadır. Faktör Analizi, verinin karmaşıklığını azaltmak için

değişkenler arasındaki içsel bağımlılıkları ortaya koyarak, faktör adı verilen az sayıda hipotetik değişken ile veriyi tanımlamaktır. Az sayıda faktör, genellikle geniş değişken kümesiyle aynı bilgiye sahiptir (Johnson ve Wichern, 2007:481-526).

TBA sonucunda çalışılabileceği ortaya çıkan 38 değişkenin neler olduğunu saptamak amacıyla, EK-1’de verilen kaza verilerinde faktör analizi uygulanmıştır. Minitab 17 ile yapılan faktör analizi sonucunda Çizelge 3.2.’de verilen sonuçlar (özet şekilde belirtilmiştir) elde edilmiştir. Analiz sonucunda ortaya çıkan Çizelge’de, 42 değişkeni 38 değişkene düşürmek için çalışma yapılmıştır. Oransal varyans değeri düşük olan faktörün (1’den az olan), değişkenler arasından çıkartılması gerekmektedir. Ancak, Çizelge’de görüldüğü üzere oransal varyans değeri küçük değişken bulunmamaktadır. Sonuç olarak, faktör analizi sonunda da elemine edilecek değişken bulunamamıştır.

Çizelge 3.2. Faktör analizi oransal varyans (*communality*)

Variable	Factor38	Factor39	Factor40	Factor41	Factor42	Communality
Çalışan Sayısı	0,192	-0,007	0,155	0,012	0,000	1,000
Tehlike Sınıfı	0,055	-0,016	-0,008	-0,004	0,000	1,000
İSG Kurulu	0,188	-0,042	-0,400	-0,020	-0,000	1,000
İş Güv. Uzmanı	0,097	0,011	-0,009	0,070	-0,000	1,000
İşyeri Hekimi	0,165	-0,101	-0,049	-0,295	0,003	1,000
İşyeri Teftiş Geçmişi	0,853	-0,026	-0,018	-0,006	0,001	1,000
Ortam Ölçüm Raporu	0,091	-0,007	-0,007	-0,000	-0,000	1,000
İş Tecrübesi Yılı	-0,001	0,002	-0,004	0,000	-0,000	1,000
Kazazede Yaşı	-0,006	-0,007	-0,001	0,001	0,000	1,000
İş Kazası Saati	0,034	-0,006	-0,007	-0,001	-0,000	1,000
Öğrenim Durumu	0,017	-0,009	-0,004	0,001	-0,000	1,000
Mesleki Eğitim	0,029	-0,027	-0,005	-0,002	-0,000	1,000
İ.G. İSG Eğitimi	0,149	-0,477	-0,024	-0,023	-0,000	1,000
Per. İSG Eğitimi	0,107	-0,011	-0,013	-0,000	0,000	1,000
İ.G. Sağ. Muayenesi	0,086	0,008	0,001	0,010	0,145	1,000
Per. Sağ. Muayenesi	0,043	-0,003	-0,001	0,039	-0,137	1,000
Ekipman ile ilgili Eğitim	0,054	-0,005	-0,005	-0,002	0,001	1,000
Operasyon Noktasına Temas	0,038	0,010	-0,004	-0,003	0,000	1,000
Hareketli Aksama Temas	-0,047	-0,007	0,000	-0,001	-0,000	1,000
Bakım ve Onarım	-0,011	0,007	-0,001	0,000	-0,000	1,000
Parça Fırlaması	-0,024	-0,002	0,005	0,003	0,000	1,000
Çift El Kumanda	0,017	0,000	0,001	0,002	-0,000	1,000
Durdurma Sistemi	0,029	-0,001	0,002	-0,001	0,000	1,000
Sabitleme	-0,008	-0,009	0,001	-0,002	0,000	1,000
Ekipman Gösterge İkaz ve Işık	0,016	-0,012	-0,003	-0,002	-0,000	1,000
Sıcak Yüzeye Temas	0,025	-0,004	-0,002	-0,000	-0,000	1,000
Periyodik Kontrol	-0,040	0,002	0,001	0,001	-0,000	1,000
İş Ekipmanı Ergonomi	-0,003	0,001	0,005	0,001	-0,000	1,000
Yangın Patlama Tehlikesi	-0,077	0,010	0,004	0,003	-0,000	1,000
Kimyasal Riskler	-0,036	0,015	0,008	0,002	0,000	1,000
Elektrik Tehlikesi	-0,037	0,003	-0,003	0,000	0,000	1,000
KKD	0,002	0,005	0,002	0,000	0,000	1,000
Depolama İstifleme	0,027	-0,005	-0,003	-0,000	-0,000	1,000
Sağlık ve Güvenlik İşaretleri	0,010	0,005	0,003	0,000	0,000	1,000
Uygun Ekipman	0,016	0,007	0,005	0,000	-0,000	1,000
Talimat	-0,013	-0,002	-0,002	-0,001	0,000	1,000

Çizelge 3.2. Faktör analizi oransal varyans (*communality*) (devam)

Yüksekten Düşme	-0,055	0,004	0,004	0,003	0,000	1,000
Dikkat ve Güvenlik	0,033	-0,011	-0,000	-0,000	-0,000	1,000
Risk Değerlendirmesi	0,008	0,010	0,002	0,002	-0,000	1,000
Denetim ve Gözetim	0,094	0,008	-0,002	0,001	-0,000	1,000
Kaldırma Araçlarında Güvenlik	-0,035	0,005	0,003	0,002	-0,000	1,000
Kumanda Sistemi	-0,008	0,001	0,003	-0,000	0,000	1,000
Variance	0,9269	0,2433	0,1878	0,0947	0,0399	42,0000
% Var	0,022	0,006	0,004	0,002	0,001	1,000

3.2.4. Kümeleme Analizi

Kümeleme teknikleri, veri madenciliğinde bir sınıf tahmini gerekmediği ancak verilerin (örneklerin) benzerliklerine göre gruplara ayrılması gerektiğinde kullanılan bir yöntemdir. Analiz sonucunda oluşan kümelerde bulunan örnekler, kendi kümesinde yer alan diğer örneklerle karşı güçlü bir benzerlik içerirken, diğer kümedekilere karşı düşük benzerlik içerirler. Temelde üç farklı kümeleme tekniği bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, örnekleri benzerliklerine göre “k” kümeye ayrıldığı basit en yakın komşu yönteminin uygulandığı k-ortalama algoritmasıdır. İkicisi ise 1980’lerin sonunda geliştirilen artırımlı kümeleme yöntemidir. Üçüncüsü ise örneklerin kümelere olasılıklarına göre atandığı istatistiksel kümeleme yöntemidir (Witten ve Frank, 2000:210-211).

Çalışmada, kaza verilerine kümeleme analizinin uygulanma amacı birbirine benzerlikleri yüksek olan değişkenlerin birleştirilerek, toplan değişken sayısının azaltılmasıdır. Kaç küme oluşturulacağı baştan belirli olmaması nedeniyle, k-ortalama algoritmasının uygulanması uygun görülmemiştir. Bu nedenle her bir değişkenin diğerleriyle benzerliğine bakarak olabilecek en fazla kümenin oluşturulabileceği artırımlı kümeleme yönteminin uygulanmasına karar verilmiştir.

Artırımlı kümeleme yönteminde, her bir aşamada kök ve dallarda değişkenlerin bulunduğu bir ağaç oluşmaktadır. Başlangıçta tek başına bir tane kök küme bulunmaktadır. Ardından, benzerliğe göre her bir değişken ağaca eklenmekte ve ağaç her bir aşamada güncellenmektedir (Witten ve Frank, 2000:212). Yöntemin özetlendiği bir gösterim Şekil 3.3.’de verilmiştir.

Şekil 3.4.'de verilen dendrograma göre benzerlik oranı %80'in üzerinde olan değişkenler incelemeye alınmış ve aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

- “İşe giriş sağlık muayenesi” ve “periyodik sağlık muayenesi” değişkenlerinin benzerlikleri en yüksek bulunmuştur (benzerlikler %90'ın üzerindedir). Bu durum, işveren işletme tarafından kazazedenin işe girişinde sağlık muayenesinin yaptırıldığı durumlarda, çoğunlukla periyodik sağlık muayenesinin de yaptırıldığını ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle benzerlik oranının en yüksek olduğu iki değişkenin birleştirilerek, tek bir değişken haline getirilmesine karar verilmiştir.
- “İşe Giriş İSG Eğitimi” ve “Periyodik İSG Eğitimi” değişkenlerinin benzerliği de yüksektir. Bu durum kazazedenin işe girişinde gerekli iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerini veren işveren işletmenin, periyodik olarak iş sağlığı ve güvenliği eğitimini beraberinde verdiğini ortaya koymaktadır. Bu durumda, değişken sayısını azaltmak amacıyla iki değişkenin birleştirilmesi uygun görülmüştür.
- “İş Güvenliği Uzmanı” ve “İşyeri Hekimi” değişkenlerinin de benzerlikleri yüksektir. Burada çıkarılan sonuç ise, işletmelerdeki iş sağlığı ve güvenliği profesyonellerini oluşturan işyeri hekimi veya iş güvenliği uzmanı istihdamından birini yapan işveren işletmenin, diğerini de beraberinde istihdam etmesidir. Bu nedenle, değişken sayısını azaltmak amacıyla bu değişkenlerin birleştirilebileceği ortaya çıkmıştır.
- “Çalışan Sayısı” ve “İSG Kurulu” değişkenlerinin, benzerlikleri yüksektir. Ancak, 3.1. Bölümünde tanımlanan değişkenlerden; “Çalışan Sayısı” 4 kategorili, “İSG Kurulu” ise 2 kategorili bir değişkendir. Bu nedenle değişkenlerin birleştirilmesi, boyutlarının farklı olması nedeniyle uygun değildir.

Sonuç olarak, kümeleme analizi neticesinde 3 değişken daha azaltılmış, veri tablosundaki toplam anlamlı değişken sayısı 39'a indirilmiş ve 3.2.1. Bölümünde TBA sonucunda tespit edilen 38 anlamlı değişkene en yakın değere ulaşılmıştır. Kümeleme analizi sonucu elde edilen ve kaza tahmin modeline esas olacak veri tablosu EK-2'de sunulmuştur.

3.3. Kaza Tahmin Modelinde Kullanılacak Makine Öğrenim Algoritmasının Belirlenmesi:

Kaza verileri üzerinde gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra, makine öğrenim algoritmalarındaki performansını izleyerek, verilere en uygun algoritma belirlenmiştir.

Kaza verilerinin, makine öğrenim algoritmalarındaki performansını gözlemlemek için WEKA 3.8.1 programı tercih edilmiştir.

WEKA, Yeni Zelanda Waikato Üniversitesinde, nesne yönelimli bir programlama dili olan Java kullanılarak geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir veri analiz programıdır (Witten ve Frank, 2000:265-267). WEKA programı; akademik kullanımda ücretsiz olması, kolay erişilebilir olması, ara yüz kullanım kolaylığı ve çalışma kapsamında dikkate alınan tüm veri madenciliği yöntemlerini içermesi sebebiyle, çalışmada tercih edilmiştir.

Kaza veri tablosu yapılan düzenlemeler kapsamında, öncelikle WEKA programı için gerekli “ARFF” formatına çevrilmiştir. Verilerin “ARFF” formatına dönüştürülmüş hali EK-3’de sunulmuştur. WEKA’da ilk olarak veriler ile ilgili olarak karar ağacı sınıflandırması yapılarak doğruluk oranı tespit edilmeye çalışılmıştır. Buna göre kurulan karar ağacı modelinin, verilerin yaklaşık %76’sında doğru sonucu verdiği program tarafından belirtilmiştir. Elde edilen performans testi sonuç raporu EK-4’de verilmiş, sonuç özeti ise Çizelge 3.3.’de verilmiştir. Sonuç özetinde görüleceği üzere, 192 kaza verisinden 146’sında kaza sonuçları kurulan karar ağacı ile doğru olarak belirlenmiştir. Buna göre mevcut kaza örneği sayısının yeterli olduğu, veri madenciliği yöntemlerinin kaza veri kümesinde uygulanabileceği belirlenmiştir.

Çizelge 3.3. WEKA karar ağacı analizi özet raporu

=== Summary ===		
Correctly Classified Instances	146	76.0417 %
Kappa statistic	0.5737	
Mean absolute error	0.1633	
Root mean squared error	0.2858	
Relative absolute error	53.6384 %	
Root relative squared error	73.4119 %	
Total Number of Instances	192	

Kaza verilerinin yeterliliği belirlendikten sonra, WEKA programı kapsamında yer alan veri madenciliği yöntemleri uygulanarak kaza tahmin modelleri kurulmuştur. WEKA ile çalışılan tahmin modellerine göre doğruluk oranlarının hesaplanmasında verilerin %80’i

öğrenmede, %20'si ise analizde kullanılmıştır. Buna göre; 154 kaza verisi her bir yöntem için öğrenmede, arda kalan 38 kaza verisi ise modelin doğruluğunu belirlemek üzere oluşturulan tahmin modelinde denenmiştir.

WEKA ile elde edilen farklı veri madenciliği yöntemlerine dayalı kaza tahmin modellerinin performanslarını belirtir rapor EK-5'de sunulmuştur. EK-5'de sunulan raporda yer alan bilgilerin bir özeti ise Çizelge 3.4.'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.4. WEKA ile çalışılan tahmin modellerine göre başarı oranları (%80 öğrenme, %20 analiz)

Yöntem	Doğru Tahmin Yüzdesi
Lojistik Regresyon	%42,10
Karar Ağacı	%52,63
Yapay Sinir Ağları	%60,53
Naive Bayes Algoritması	%50
Bayes Ağı	%52,63
OneR Algoritması	%52,63
SMO (sequential minimal optimization)	%47,37

Yukarıda belirtilen Çizelge 3.4.'e göre, metal sektörü iş kazalarına ait verilerde Yapay Sinir Ağlarının en yüksek oranda doğru tahminlere sahip sonucu verdiği anlaşılmıştır. Bu nedenle, kaza verileri üzerinde yapılan en iyi performansı gösteren makine öğrenim algoritmasının belirlenmesi çalışmasında, ilerleyen aşamada kurulacak kaza tahmin modelinin en iyi performansa sahip “Yapay Sinir Ağları” dikkate alınarak kurulmasına karar verilmiştir.

3.4. Yapay Sinir Ağları Temelinde Kaza Tahmin Modelinin Tanımlanması

Kaza tahmin modelini yapay sinir ağları kullanarak modellemek için Matlab R2018b programı “nnstart” modülü kullanılmıştır. Matlab R2018b “nnstart” modülü içerisinde; araç hızı ve yakıt tüketiminin motor emisyon değerlerini belirlemesi örneği gibi sayısal girdilerin sayısal hedefleri tanımladığı yapay sinir ağı tanımlama “nftool” fonksiyonu ve bir hastanın analiz değerlerinin bir tümörün türün tanımlaması örneği gibi sayısal girdilerin

kategorileştirilmiş değerleri tanımladığı “Yapay Sinir Ağı Örüntü Tanıma Fonksiyonu” (*nprtool* – *Neural Network Pattern Recognition Tool*) yer almaktadır. (MathWorks, 2018).

Matlab’da yer alan yapay sinir ağı uygulaması “*nntool*”, Matlab programının Ağustos/2018 tarihi itibarıyla yayımlanan R2018b sürümü ile desteklenmemesi nedeniyle çalışmada kullanılmamıştır. Analiz yapılacak veriler kümesi oluşturulduktan sonra, Matlab ile uygulanacak yapay sinir ağları süreci aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (MathWorks, 2018):

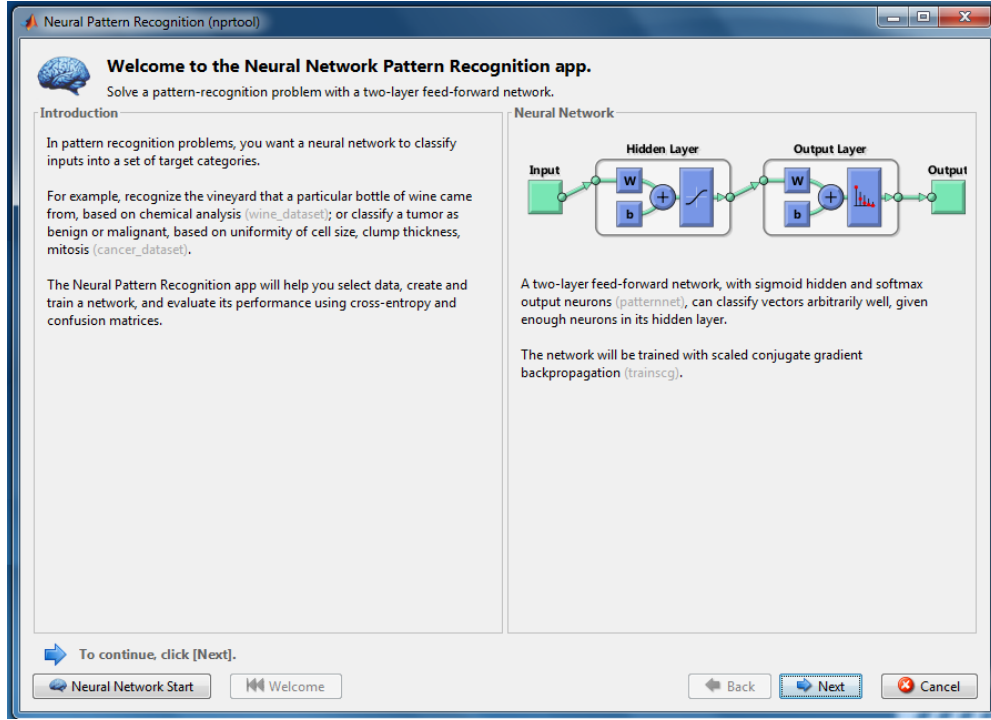
- Ağın oluşturulması
- Ağın ayarlanması/yapılandırılması
- Ağırlıkların belirlenmesi
- Verinin ağa öğretilmesi
- Ağın Doğrulanması
- Ağın Kullanılması

Metal sektörüne ait iş kazası verilerinde, her bir kaza olayının sonucu “hafif yaralanma”, “yaralanma”, “uzuv kaybı” ve “ölüm” başlıkları altında dört kategoriden biri olması nedeniyle, kurulacak yapay sinir ağı kaza tahmin modelinin Matlab R2018b Yapay Sinir Ağı Örüntü Tanıma Fonksiyonu “*nprtool*” ile kurulmuştur.

Matlab *nprtool*, her bir kaza verisi için hedef verilerini (kaza sonucu), kaza sonucunun hangi sınıf olduğunu belirtecek biçimde 0-1 matrisi şekline dönüştürülmesine ihtiyaç duyduğundan, kaza verileri tablosunda kaza sonucu sütunu öncelikle 0-1 matrisine dönüştürülmüştür. Matlab’da kurulacak yapay sinir ağına dayalı kaza tahmin modeli için oluşturulan veri tablosu EK-6’da verilmiştir. Ardından Matlab *nprtool* modülü kullanılmaya başlanmıştır. Matlab R2018b *nprtool* arayüzü Şekil 3.5.’de verilmiştir.

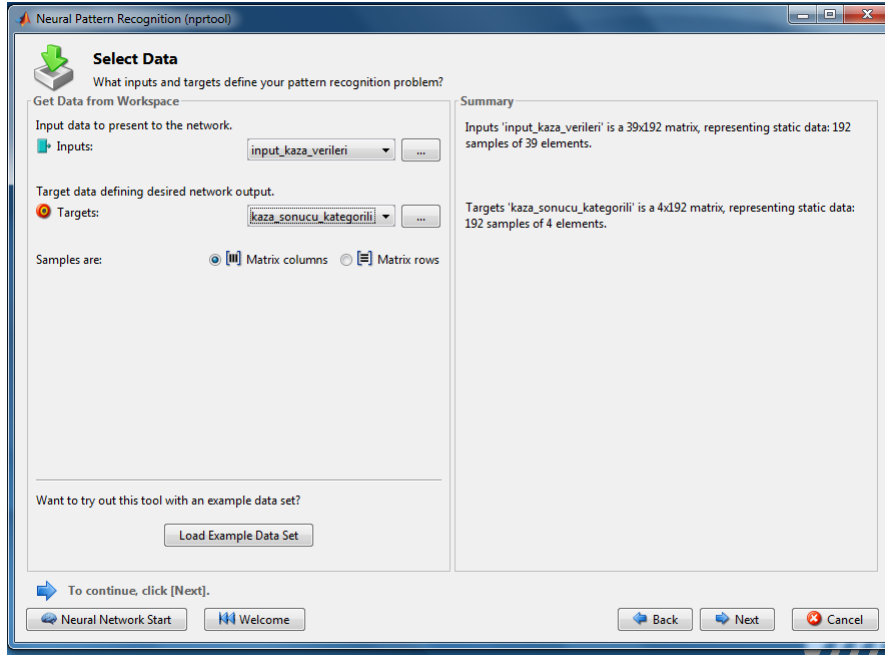
Şekil 3.5.’de Yapay Sinir Ağı Örüntü Tanıma Fonksiyonunun çalışma prensibi belirtilmiştir. Matlab tarafından kurulacak YSA; iki katmanlı, ileri beslemeli ve gizli katmanında yeterli sayıda nöronların bulunduğu bir ağ meydana getirerek, çıktı vektöründe sınıflandırma yapılmaktadır. Ağ ise verileri eşit ölçekli dereceli azalma geri yayılım algoritması ile öğrenmektedir. Böylece, YSA’da yer alan ağırlıklar için en uygun değerler bulunmaya çalışılmaktadır.

YSA ile oluşturulacak kaza tahmin modelinde, metal sektörü iş kazası veri kümesi modelin girdisini oluşturacak, YSA tarafından yapılan işlem sonucunda ortaya çıkacak kaza tahminine ait vektör ise modelin çıktısını oluşturacaktır.



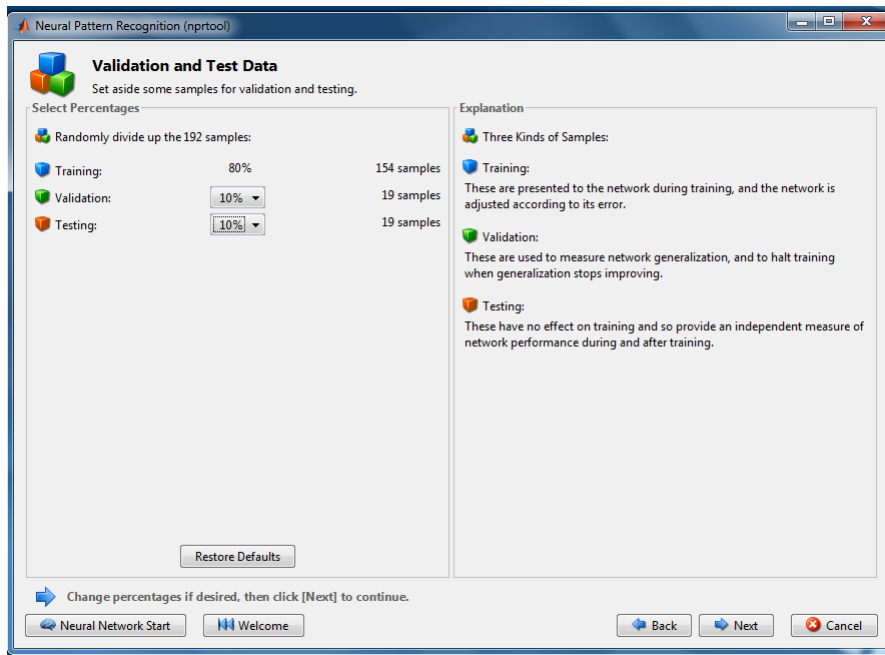
Şekil 3.5. Matlab r2018b “nprtool” yapay sinir ağı örüntü tanıma fonksiyonu uygulaması arayüzü

Kaza tahmin modeli YSA’yı oluşturmak amacıyla uygulama ara yüzüne, EK-6’da verilen kaza veri kümesinde yer alan 39 değişken (39 değişken x 192 örnekten oluşan matris) girdi olarak, kaza sonuçlarına ait 0-1 matrisi de (4 0-1 değişken x 192 örnekten oluşan matris) çıktı olarak girilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Matlab R2018b “nprtool” yapay sinir ağı uygulaması veri seçim ekranı

Sonraki adımda, Matlab’da oluşacak yapay sinir ağının öğrenme, doğrulama ve test örnek yüzde oranları belirlenmiştir. Bölüm 3.3.’de, WEKA programı ile yapılan çalışmalarda kullanılan %80 öğrenme, %20 analiz oranını korumak için kaza verilerinin %80’i öğrenme, %10’u doğrulama ve %10’u testte kullanılmak üzere Matlab ara yüzüne girilmiştir (Şekil 3.7).



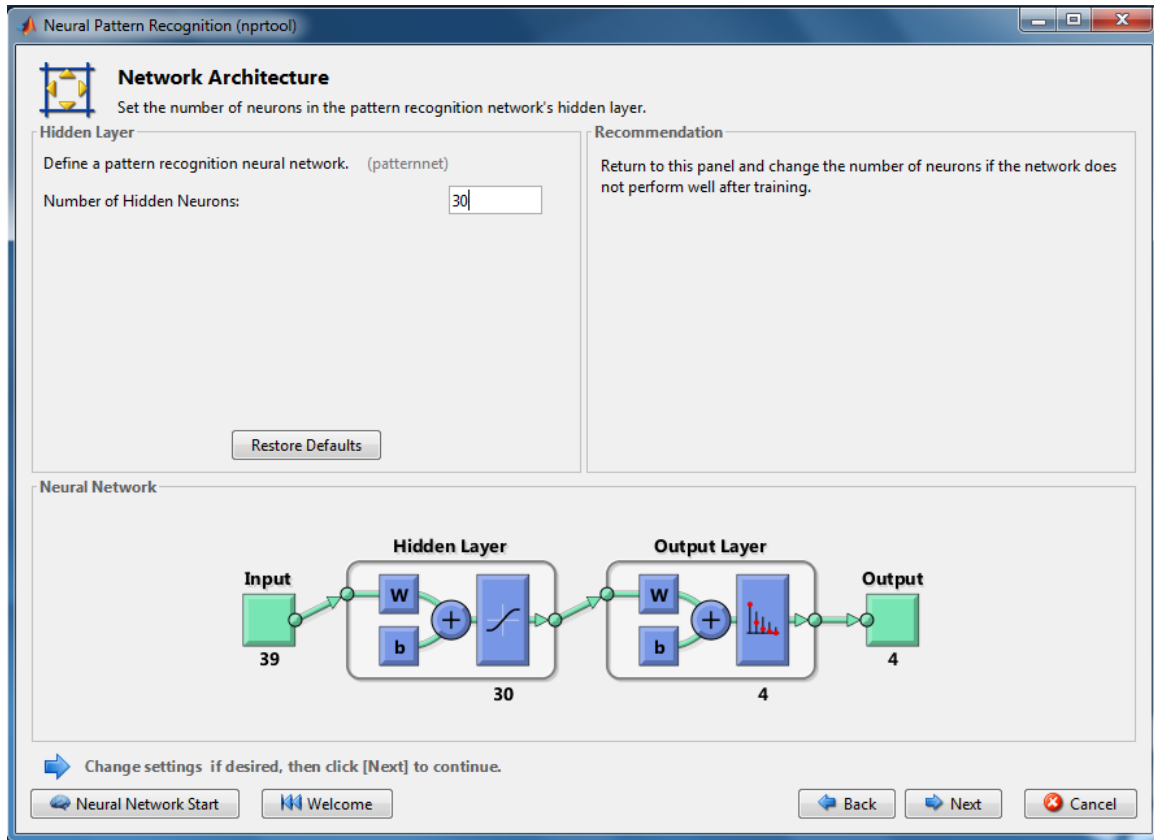
Şekil 3.7. Matlab R2018b “nprtool” doğrulama ve test veri yüzdeleri giriş ekranı

Bir sonraki aşamada kurulacak ağın gizli katmanında yer alacak nöron sayısı girilmesi gerekmektedir. Nöron sayısının belirlenmesinde, Huang (2003) tarafından önerilen formül kullanılmıştır.

Huang (2003) çalışmasında iki gizli katmana sahip “N” öğrenilecek örneğin ve “m” çıktı nöronunun bulunduğu ağlarda yer alacak optimal nöron sayısının ihmal edilebilecek kadar küçük hata ile Eş. 3.1.’de belirtilen eşitlik ile bulunabileceğini ispatlamıştır.

$$\text{Nöron Sayısı} = \sqrt[2]{(m + 2)N} \quad (3.1)$$

Kaza tahmin modeli için oluşturulacak yapay sinir ağında, öğrenilecek örnek sayısı toplam örnek sayısının %80’i olarak belirlenmiştir. Bu durumda, verilerin %80’i öğrenmede kullanılacağı için öğrenilecek örnek sayısı olan $N = 154$ olacaktır. Kaza sonucu 4 farklı kategoriye sahip olduğundan, $m = 4$ olacaktır. Belirlenen değerler, yukarıda Eş. 3.1’de belirtilen eşitliğe uygulandığında nöron sayısı yaklaşık olarak 30 bulunmuştur. Bu durumda, Matlab’da ağ için nöron sayısı “30” olarak girilmiştir (Şekil 3.8).

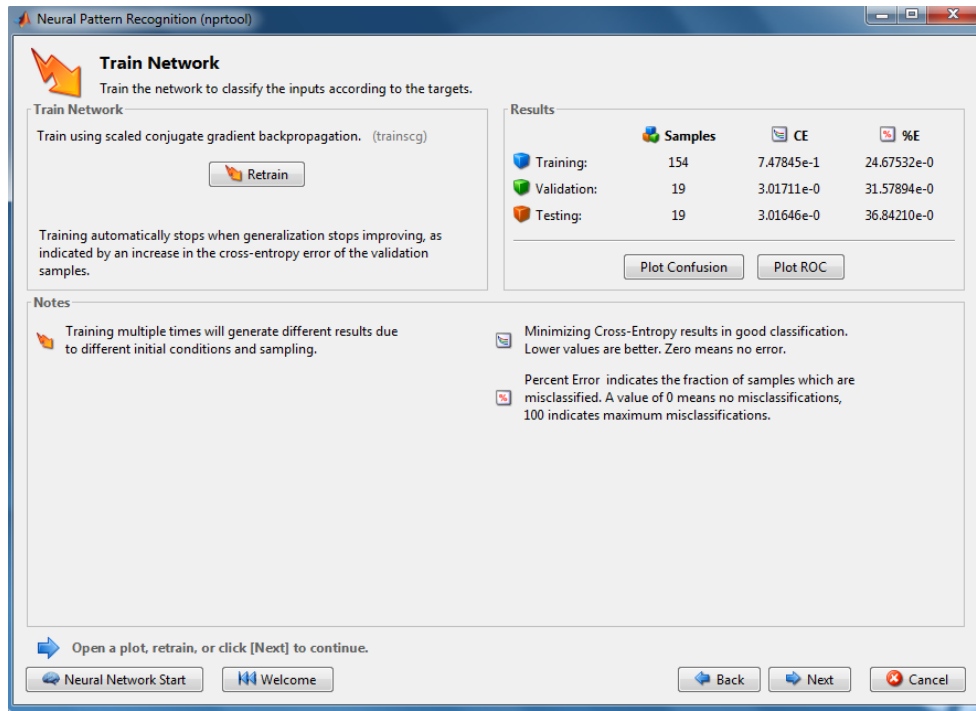


Şekil 3.8. Matlab R2018b “nprtool” nöron sayısı giriş ekranı

Verilen bilgilere göre Yapay Sinir Ağı Temelinde Kaza Tahmin Modeli Matlab aracılığıyla oluşturulmuştur.

Oluşturulan modelin öğrenme sonuçları ise Şekil 3.9.'da verilmiştir. Şekil 3.9.'da yer alan sonuçlara ilişkin detaylı bilgiler ise Çizelge 3.5.'de özetlenmiştir. Buna göre, oluşturulan model ile yapılan sınıflandırmada;

- Öğrenmede kullanılan 154 kaza olayının %24,675'i,
- Doğrulamada kullanılan 19 kaza olayının %31,576'sı,
- Testte kullanılan 19 kaza olayının %36,842'si yanlış sınıflandırılmıştır.



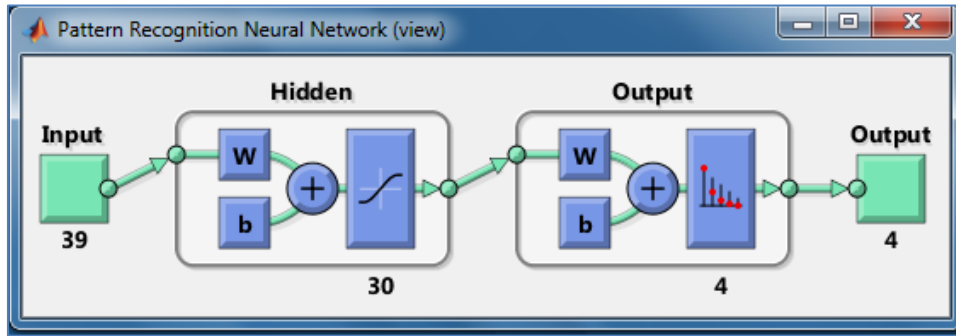
Şekil 3.9. Matlab R2018b “nprtool” ağ öğrenme performans sonuçları

Çizelge 3.5. Kaza tahmin modeli yapay sinir ağı performans sonuçları

Veri Kullanım Amacı	Örnek Sayısı	Hatalı Tahmin Oranı (%)	Doğru Tahmin Oranı (%)
Öğrenme	154	24,675	75,325
Doğrulama	19	31,579	68,421
Test	19	36,842	63,158

Sonuç olarak, Çizelge 3.5.'de yer alan sonuçlar incelendiğinde; %75 oranına kadar doğru sınıflandırma yapabilen bir model ortaya konulmuştur.

Matlab R2018b ile oluşturulan Kaza Tahmin Modeli Yapay Sinir Ağı Şekil 3.10.'da verilmiştir. Şekil 3.10.'da görüleceği üzere, 39 değişkene sahip kaza olayı ağa girdi olarak verilmekte, gizli katmanında 30 nörona sahip ağdan, 4 farklı sınıfa sahip kaza sonucu ortaya çıkmaktadır.



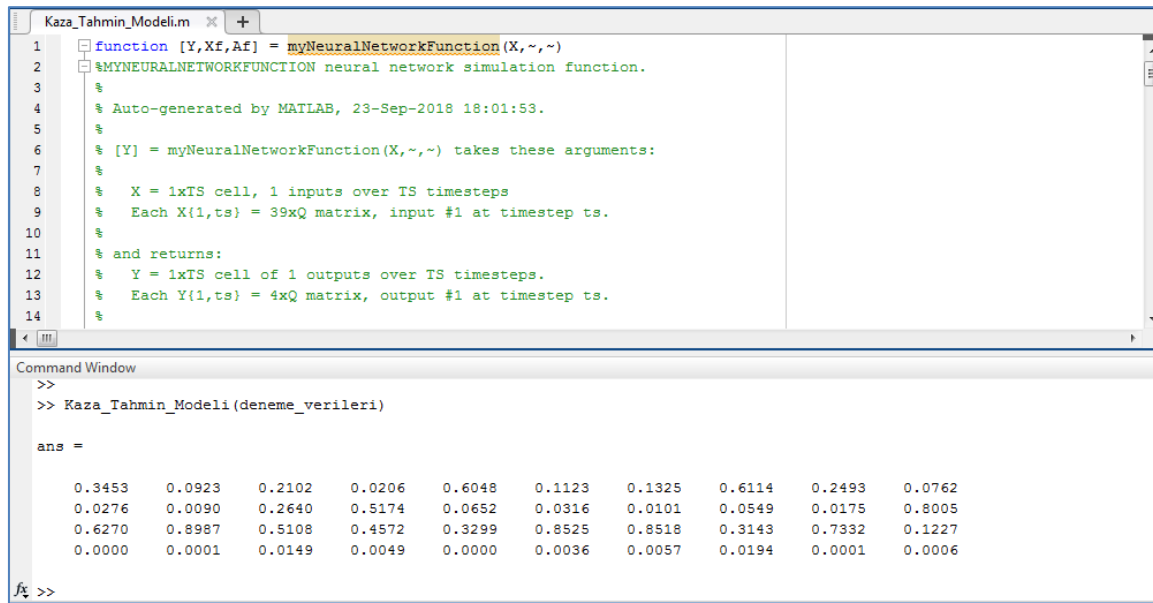
Şekil 3.10. Kaza tahmin modeli yapay sinir ağı

Yapay Sinir Ağları Temelinde Kaza Tahmin Modelini, örnek kaza olaylarında denemek ve kaza sonuçlarını tahmin etmek için modele ait simülasyon fonksiyonu kodu Matlab R2018b ile meydana getirilmiştir. Meydana getirilen bu fonksiyon kodu, EK-7'de verilmiştir.

Yapay Sinir Ağı Temelinde Kaza Tahmin Modelinin performansını belirlemek amacıyla, kaza verileri içerisinde yer alan 10 kaza olayı örnek olarak seçilerek modelde denenmiştir. 10 kaza olayı EK-6'da verilen kaza veri tablosundaki 30 ila 39'uncu kaza olaylarından seçilmiştir. Elde edilen deneme veri tablosu EK-8'de verilmiştir. 10 adet kaza verisinin kaza sonuçlarının Kaza Tahmin Modeli ile tahmin edilmesi neticesinde elde edilen sonuçları belirtir Matlab ekran çıktısı Şekil 3.11.'de verilmiştir.

Model çıktısını analiz etmeden önce, çıktı değişkenleri hakkında bilgi verilmelidir. Her bir kazanın kategorisi olan çıktı değişkenleri 0-1 arasında değer alabilen sürekli değişkenlerdir. Bu durumda; ortaya çıkan sonucun 0'a eşit veya yakın olması durumunda, o kategorideki kazanın tahmin edilmediği, 1'e eşit veya yakın olması durumunda ise, o kategorideki kazanın tahmin edildiği anlaşılmalıdır. Şekil 3.11.'de verilen Kaza Tahmin

Modeli çıktısında, her bir sütunda belirtilen rakamlar kaza sonucunun en yakın olduğu kategoriye ait değeri vermektedir. Örneğin, birinci sütunda yer alan rakamlardan; 0.3453 ölümlü iş kazasının meydana gelme kategorisine en yakın sayıyı, 0.0276 uzuv kayıplı iş kazasının meydana gelme sınıfına en yakın sayıyı, en büyük değere sahip olan “0.6270” rakamı ise üçüncü kategoride yer alan yaralanma ile neticelenen kaza sonucunun meydana gelme sınıfına en yakın sayıyı belirtmektedir. Buna göre 1 numaralı kaza verisinin sonucunun model tarafından yapılan tahmini, en yüksek sayının verildiği (1’e en yakın olan sonuç) “yaralanma” ile neticelenen bir iş kazasıdır. Modelde denemesi yapılan ve kaza tahminleri Şekil 3.11.’de verilen sonuçlar ile verilerin gerçek sonuçları arasındaki kıyaslama Çizelge 3.6.’da verilmiştir.



Şekil 3.11. Kaza tahmin modeli deneme verileri çıktısı

Çizelge 3.6. Kaza tahmin modeli sonuçları ile veri sonuçlarının kıyaslaması

Veri Sıra No	Kaza Sonucu	Model Tahmin Sonucu	Tahmin Doğruluğu
30	1	3	Yanlış
31	3	3	Doğru
32	3	3	Doğru
33	2	2	Doğru
34	1	1	Doğru
35	3	3	Doğru

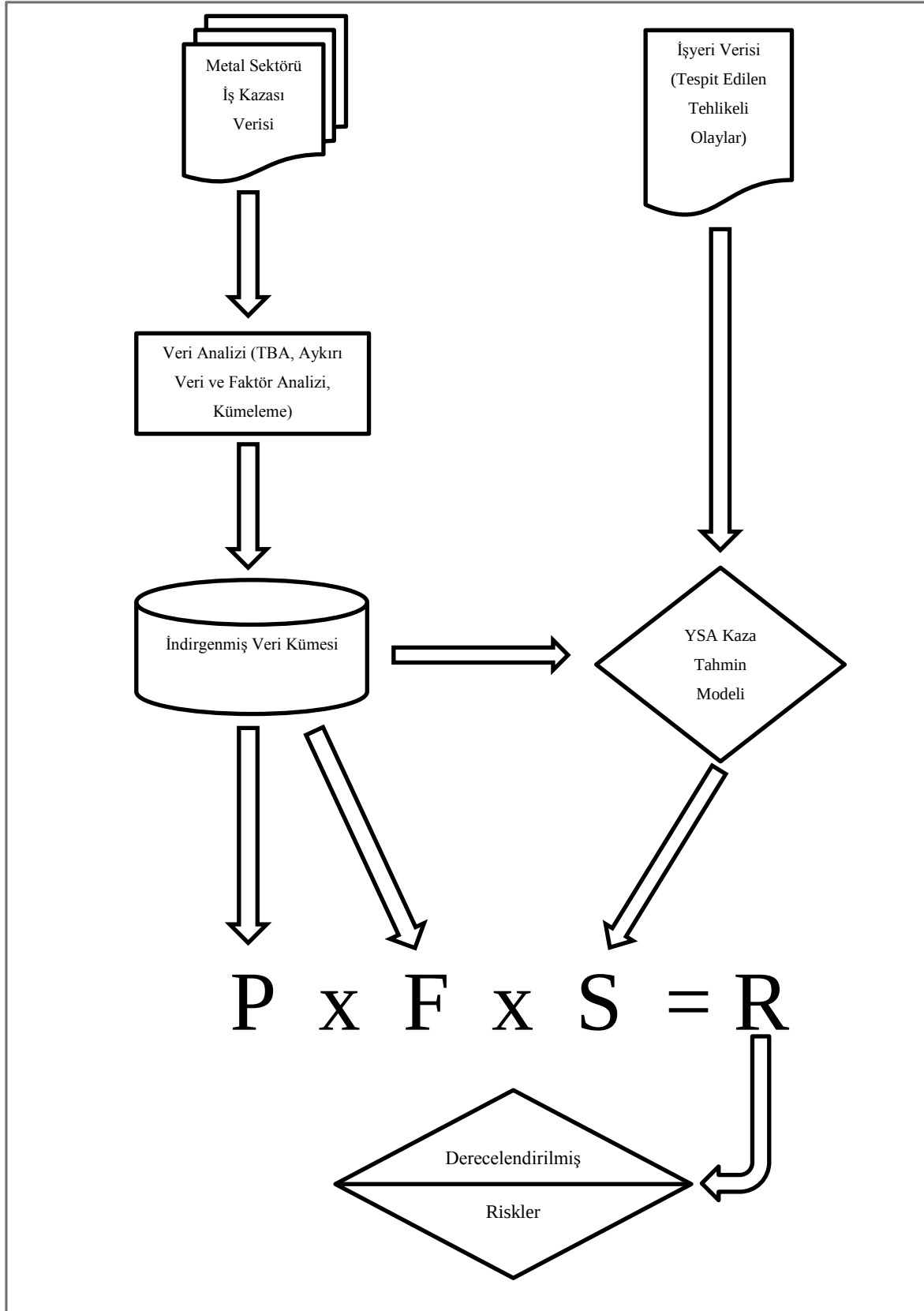
Çizelge 3.6. Kaza tahmin modeli sonuçları ile veri sonuçlarının kıyaslaması (devam)

36	3	3	Doğru
37	1	1	Doğru
38	3	3	Doğru
39	2	2	Doğru

Sonuç olarak; Çizelge 3.6’da verilen kıyaslama tablosu doğrultusunda yapılan değerlendirme neticesinde, Matlab R2018b “nprtool” modülü ile geliştirilen Kaza Tahmin Modeli Yapay Sinir Ağının, verilerin %90’ını doğru olarak tahmin ettiği anlaşılmıştır. Buna göre, geliştirilen modelin ilerleyen aşamada geliştirilecek metal sektörü risk derecelendirme modelinde kullanabileceği belirlenmiştir.

3.5. Metal Sektörü Risk Derecelendirme Modelinin Tanımlanması

Fine Kinney Yöntemi kapsamında, 3.4. bölümünde tanımlanan kaza tahmin modeli temelinde ortaya konulacak Metal Sektörü Risk Derecelendirme Modeli (MSRDM) için bir akış şeması Şekil 3.12.’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Metal sektörü risk derecelendirme modeli (MSRDM)

Şekil 3.12.'de gösterilen model süreci şu şekilde özetlenebilir:

- İş kazası raporlarının değerlendirilmesi sonucunda hazırlanan kaza veri tablosu içerisinde yer alan gözlemlerin, istatistik paket programı ile analizi sonucunda FKY'nin olasılık ve frekans faktörleri belirlenecektir.
- Metal sektöründe tespit edilen yeni bir tehlikeli olayın/noksanlığın, veri tablosunda yer alan gözlemlerin YSA'ya öğretilmesi sonucu oluşturulan Kaza Tahmin Modeline girdi olarak verilmesi sonucu ortaya çıkacak kaza şiddeti tahminine göre de FKY'nin şiddet/etki faktörü belirlenecektir.
- Ortaya çıkan olasılık, frekans ve şiddet tahmin değerlerinin FKY skalasına dönüşümü yapılacaktır.
- Ardından ortaya çıkacak risk skoruna göre, risklerin derecelendirilmesi sağlanacaktır.

Şekil 3.12.'de belirtilen MSRDM'nin bileşenleri ve elde edilme yöntemi aşağıda özetlenmiştir:

Olasılık bileşeni (P)

Bölüm 3.1.'de açıklanan kazaya neden olan noksanlıklar, metal sektöründe yer alan ve her bir kaza için tehlikeli durumu belirten faktörlerdir. Bu nedenle MSRDM için olasılık bileşenin belirlenmesinde, öncelikle her bir kazaya neden olan noksanlıkların iki yıllık dönem içerisinde toplam görülme sayısı SPSS 22.0 istatistik programı ile kaza veri tablosu analiz edilerek belirlenmiştir.

Her bir kazaya neden olan noksanlığın, meydana gelen kazaya göre görülme sıklığı Çizelge 3.7.'de verilmiştir. Çizelge 3.7.'de verilen sonuçlara göre, işyeri tarafından iş sağlığı ve güvenliği bakımından gerekli gözetim ve denetimi sağlamaması ve çalışanların gerekli dikkat ve özeni göstermemesi meydana gelen kazaların sebeplerinde önemli bir oranı teşkil etmektedir.

Çizelge 3.7. Kazaya neden olan noksanlıkların iki yıllık dönem içerisinde görülme sayısı

Kazaya Neden Olan Noksanlıklar (Tehlikeler)	Kaza* Sonucuna Göre Görülme Sayısı				Toplam	Kazaya Neden Olan Noksanlıklar (Tehlikeler)	Kaza* Sonucuna Göre Görülme Sayısı				Toplam
	1	2	3	4			1	2	3	4	
Ekipman ile ilgili Eğitim	13	7	19	1	40	Kimyasal Riskler	1	0	4	0	5
Operasyon Noktasına Temas	1	17	12	0	30	Elektrik Tehlikesi	5	0	4	0	9
Hareketli Aksama Temas	4	2	2	0	8	KKD	8	2	13	0	23
Bakım ve Onarım	7	2	5	0	14	Depolama İstifleme	2	0	1	0	3
Parça Fırlaması	2	4	0	1	7	Sağlık ve Güvenlik İşaretleri	7	2	3	0	12
Çift El Kumanda	0	8	2	0	10	Uygun Ekipman	7	5	13	0	25
Durdurma Sistemi	2	6	5	0	13	Talimat	6	10	8	0	24
Sabitleme	0	1	1	0	2	Yüksekten Düşme	6	1	9	0	16
Ekipman Gösterge İkaz ve Işık	1	2	2	0	5	Dikkat ve Güvenlik	21	11	38	0	70
Sıcak Yüzeye Temas	0	0	2	0	2	Risk Değerlendirmesi	6	3	13	0	22
Periyodik Kontrol	6	2	11	0	19	Denetim ve Gözetim	30	15	46	0	91
İş Ekipmanı Ergonomi	0	1	0	0	1	Kaldırma Araçlarında Güvenlik	5	2	10	0	17
Yangın, Parlama ve Patlama Tehlikesi	6	0	5	0	11	Kumanda Sistemi	1	2	4	0	7
* 1- Ölümle Sonuçlanan İş Kazası, 2- Uzun Kaybı ile Sonuçlanan İş Kazası, 3-Yaralanma ile Sonuçlanan İş Kazası, 4-Hafif Yaralanma ile Sonuçlanan İş Kazası											

Sonrasında “P” bileşenini belirlemek için, her bir kazaya neden olan noksanlığın ilgili kazaya neden olma olasılıkları basit matematiksel olasılık hesabı ile bulunmuştur. Buna göre, kaza sonucuna göre görülme sayıları toplam görülme sayılarına bölünerek elde edilen olasılık tablosu Çizelge 3.8.’de verilmiştir. Olasılık değeri henüz FKY değerlerine dönüştürülmediği için, “Pk” ile ifade edilmiştir.

Çizelge 3.8. Kazaya neden olan noksanlıkların (tehlikelerin) meydana gelme olasılığı

Kazaya Neden Olan Noksanlıklar (Tehlikeler)	Kaza* Sonucuna Göre Meydana Gelme Olasılığı (Pk)				Kazaya Neden Olan Noksanlıklar (Tehlikeler)	Kaza* Sonucuna Göre Meydana Gelme Olasılığı (Pk)			
	1	2	3	4		1	2	3	4
Ekipman ile ilgili Eğitim	0,325	0,175	0,475	0,025	Kimyasal Riskler	0,200	0,000	0,800	0,000
Operasyon Noktasına Temas	0,033	0,567	0,400	0,000	Elektrik Tehlikesi	0,556	0,000	0,444	0,000
Hareketli Aksama Temas	0,500	0,250	0,250	0,000	KKD	0,348	0,087	0,565	0,000
Bakım ve Onarım	0,500	0,143	0,357	0,000	Depolama İstifleme	0,667	0,000	0,333	0,000
Parça Fırlaması	0,286	0,571	0,000	0,143	Sağlık ve Güvenlik İşaretleri	0,583	0,167	0,250	0,000
Çift El Kumanda	0,000	0,800	0,200	0,000	Uygun Ekipman	0,280	0,200	0,520	0,000
Durdurma Sistemi	0,154	0,462	0,385	0,000	Talimat	0,250	0,417	0,333	0,000
Sabitleme	0,000	0,500	0,500	0,000	Yüksekten Düşme	0,375	0,063	0,563	0,000
Ekipman Gösterge İkaz ve Işık	0,200	0,400	0,400	0,000	Dikkat ve Güvenlik	0,300	0,157	0,543	0,000
Sıcak Yüzeye Temas	0,000	0,000	1,000	0,000	Risk Değerlendirmesi	0,273	0,136	0,591	0,000
Periyodik Kontrol	0,316	0,105	0,579	0,000	Denetim ve Gözetim	0,330	0,165	0,505	0,000
İş Ekipmanı Ergonomi	0,000	1,000	0,000	0,000	Kaldırma Araçlarında Güvenlik	0,294	0,118	0,588	0,000
Yangın, Parlama ve Patlama Tehlikesi	0,545	0,000	0,455	0,000	Kumanda Sistemi	0,143	0,286	0,571	0,000
* 1- Ölümle Sonuçlanan İş Kazası, 2- Uzun Kaybı ile Sonuçlanan İş Kazası, 3-Yaralanma ile Sonuçlanan İş Kazası, 4- Hafif Yaralanma ile Sonuçlanan İş Kazası									

Çizelge 3.8.’de ortaya çıkan olasılık tablosunda belirtilen olasılık değerleri, Fine Kinney Yönteminde belirtilen tehlikeli durum meydana geldiğinde kazanın meydana gelme olasılığı değerlerine dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm yapılırken, yöntemde yer alan tabloda belirtilen değerlere göre oranlama yapılmıştır. 2.5.4. Bölümünde FKY’de olasılık değerleri için 7 farklı skala belirlenmiştir. Bu skala arasında “beklenmez” durumu için öngörülen olasılık değerinin küçük olması ve bu durumun metal sektöründe mevcut olabilecek küçük tehlikeler için düşük risk skorları oluşturarak, çeşitli risklerin dikkate alınmamasına neden olabileceği için, “beklenmez” ve “pratik olarak beklenmez” skalaları dönüşüm tablosunda birleştirilmiştir. Yapılan dönüşüm işlemini belirten tablo, Çizelge 3.9.’da verilmiştir.

Çizelge 3.9.’da verilen dönüşüm tablosu uygulamasına örnek vermek gerekirse; metal sektöründe “iş ekipmanında çift el kumanda tertibatının bulunmamasının” uzuv kaybı ile sonuçlanan bir kazaya neden olma olasılığı Çizelge-8’e göre $P_k = 0,8$ ’dir. Bu değer, Çizelge 3.9.’a göre “oldukça mümkün” satırında yer almaktadır. Buna göre Risk Puanı hesaplamasında P değeri 6’ya eşit kabul edilecektir.

Çizelge 3.9. FKY olasılık değeri dönüşüm tablosu

Olasılık Açıklaması	Fine Kinney Olasılık Değeri (P)	Kazaya Neden Olan Noksanlıkların (Tehlikelerin) Meydana Gelme Olasılığı
Kesinlikle Beklenir	10	$P_k == 1$
Oldukça Mümkün	6	$0,6 \leq P_k < 1$
Mümkün	3	$0,3 \leq P_k < 0,6$
Çok Düşük İhtimalle Mümkün	1	$0,1 \leq P_k < 0,3$
Beklenmez ancak az da olsa Mümkün	0,5	$0,05 \leq P_k < 0,1$
Beklenmez	0,2	$P_k < 0,05$

Sıklık (frekans) bileşeni (F)

Kazaya neden olan tehlikeli durumların yıllık görülme sıklığı, Çizelge-7’de belirtilen iki yıllık dönemde görülme sayılarının ikiye bölünmesi ile bulunmuştur. Buna göre ortaya çıkarılan tehlikeli durumların sıklığını belirtir tablo Çizelge 3.10’da verilmiştir. Kazaya neden olan tehlikeli durumlara ait sıklıkların (“Fk” ile ifade edilmiştir) Fine Kinney Yönteminde belirtilen sıklık değerine (F) dönüştürülmesinde, Yöntemde belirtilen değer aralıkları esas alınmıştır. Buna göre meydana getirilen dönüşüm tablosu Çizelge 3.11’de verilmiştir. Çizelge 3.11’de verilen dönüşüm tablosuna örnek vermek gerekirse; metal sektöründe “Uygun Ekipman” kullanılmaması tehlikesi sonucu yaralanmalı ile sonuçlanan iş kazasının meydana gelme sıklık değeri (Fk) 6,5’e eşittir. Bu durumun açıklaması Fk değerine göre “sık (günde 1 ya da birkaç defa)” satırında yapılmıştır. İlgili satırda yer alan F değeri 6’ya eşittir. Sonuç olarak, tehlike ile ilgili risk puanı hesaplamasında F değeri 6 kabul edilmiştir.

Çizelge 3.10. Kazaya neden olan noksanlıkların (tehlikelerin) yıllık görülme frekansı

Kazaya Neden Olan Noksanlıklar (Tehlikeler)	Kaza* Sonucuna Göre Yıllık Görülme Sıklığı (Fk)				Kazaya Neden Olan Noksanlıklar (Tehlikeler)	Kaza* Sonucuna Göre Yıllık Görülme Sıklığı (Fk)			
	1	2	3	4		1	2	3	4
Ekipman ile ilgili Eğitim	6,5	3,5	9,5	0,5	Kimyasal Riskler	0,5	0	2	0
Operasyon Noktasına Temas	0,5	8,5	6	0	Elektrik Tehlikesi	2,5	0	2	0
Hareketli Aksama Temas	2	1	1	0	KKD	4	1	6,5	0
Bakım ve Onarım	3,5	1	2,5	0	Depolama İstifleme	1	0	0,5	0
Parça Fırlaması	1	2	0	0,5	Sağlık ve Güvenlik İşaretleri	3,5	1	1,5	0
Çift El Kumanda	0	4	1	0	Uygun Ekipman	3,5	2,5	6,5	0
Durdurma Sistemi	1	3	2,5	0	Talimat	3	5	4	0
Sabitleme	0	0,5	0,5	0	Yüksekten Düşme	3	0,5	4,5	0
Ekipman Gösterge İkaz ve Işık	0,5	1	1	0	Dikkat ve Güvenlik	10,5	5,5	19	0
Sıcak Yüzeye Temas	0	0	1	0	Risk Değerlendirmesi	3	1,5	6,5	0
Periyodik Kontrol	3	1	5,5	0	Denetim ve Gözetim	15	7,5	23	0
İş Ekipmanı Ergonomi	0	0,5	0	0	Kaldırma Araçlarında Güvenlik	2,5	1	5	0
Yangın, Parlama ve Patlama Tehlikesi	3	0	2,5	0	Kumanda Sistemi	0,5	1	2	0
* 1- Ölümlü Sonuçlanan İş Kazası, 2- Uzun Kaybı ile Sonuçlanan İş Kazası, 3-Yaralanma ile Sonuçlanan İş Kazası, 4- Hafif Yaralanma ile Sonuçlanan İş Kazası									

Çizelge 3.11. FKY frekans/sıklık değeri dönüşüm tablosu

Sıklık Açıklaması	Fine Kinney Sıklık Değeri (F)	Kazaya Neden Olan Noksanlıkların (Tehlikelerin) Meydana Gelme Sıklığı (Fk)
Çok Sık (her çalışma saatine en az bir)	10	10 =< Fk
Sık (günde 1 ya da birkaç defa)	6	6 =< Fk < 10
Ara Sıra (haftada 1 ya da birkaç defa)	3	3 =< Fk < 6

Çizelge 3.11. FKY frekans/sıklık değeri dönüşüm tablosu (devam)

Sık Değil (ayda 1 ya da birkaç defa)	2	$2 \leq Fk < 3$
Seyrek (yılda birkaç defa)	1	$1 \leq Fk < 2$
Çok Seyrek (yılda 1 ya da daha az)	0,5	$Fk < 1$

Etki (şiddet) bileşeni (S)

Metal sektörü kaza verilerine dayanarak oluşturulan Yapay Sinir Ağı Kaza Tahmin Modeli kullanılarak elde edilen kaza sonucu tahmini, etki bileşeni için girdiyi oluşturmaktadır. Kaza tahmin modeli tarafından verilen sonuçlarda 4 kaza tahmini mevcuttur. Ancak, Fine Kinney yönteminde 6 sonuç dikkate alınarak etki değeri belirlenmektedir. Günümüz koşulları bakımından ölümlü iş kazası en yüksek etki değerine sahip sonuçtur. Bu nedenle, Fine Kinney etki puanı tablosunda yer alan “birden fazla ölümlü kaza” ile “ölümlü kaza” arasında sonuç bakımından fark bulunmadığı dikkate alınarak, böyle bir kazanın meydana gelmesi durumunda en yüksek etki değerinin atanması gerekmektedir. Bu nedenle dönüşüm tablosunda her iki durum için aynı ve en yüksek etki puanı belirlenmesine karar verilmiştir. Bununla birlikte kaza verilerinin temelini oluşturan iş kazası raporlarında ramak kala olaylara ilişkin inceleme yapılmaması nedeniyle, Finey Kinney yöntemi tablosunda yer alan ramak kala olay için herhangi bir değerlendirme yapılmamıştır. Sonuç olarak, kaza tahmin modelinin çıktısı olan 4 farklı kaza sonucu tahminine göre risk puanı hesaplamasında kullanılacak etki puanı dönüşümü yapılmıştır. Meydana getirilen dönüşüm tablosu Çizelge 3.12.’de verilmiştir.

Çizelge 3.12. FKY etki değeri dönüşüm tablosu

Etki/Şiddet Açıklaması	Fine Kinney Etki Değeri (S)	Kaza Tahmin Modeli Etki Değeri (Sk)	Kaza Kodu*
Birden Fazla Ölümlü Kaza / Ölümlü Kaza	100	Ölümlü Kaza	1
Kalıcı Hasar, Yaralanma, Çevresel Hasar	15	Uzuv Kaybı	2
Önemli Hasar ve Yaralanma	7	Yaralanma	3
Küçük Hasar ve Yaralanma	3	Hafif Yaralanma	4
Ramak Kala Olay	1	-	
* 1- Ölümle Sonuçlanan İş Kazası, 2- Uzuv Kaybı ile Sonuçlanan İş Kazası, 3-Yaralanma ile Sonuçlanan İş Kazası, 4- Hafif Yaralanma ile Sonuçlanan İş Kazası			

3.6. Metal Sektörü Denetim Karar Destek Sisteminin Tanımlanması:

Karar Destek Sistemleri (KDS), organizasyonun karar alma organlarına, karar alma sürecinde etkileşimli bir şekilde destek sağlayan sistemlerdir. KDS, yöneticilere yapılan analizler sonucu elde edilen sonuçlar üzerinden özetler sunarak karar alma sürecini destekler. Sistem, değişik kaynaklardan topladığı bilgileri düzenleyerek karar modelleri ortaya çıkartır. Sonrasında sistem, yeni bilgiler üzerinden karar modelleri ile değerlendirme yaparak, karar vericiye karar sürecinde destek sağlar (Tutar, 2010: 251).

KDS tanımından yola çıkarak, çalışma kapsamında önerilen metal sektörü Denetim Karar Destek Sistemi (DKDS) ise; metal sektöründen toplanan iş kazası verilerini kullanarak oluşturulan karar modeli ile işyerlerinde mevcut olan tehlikelerden kaynaklanabilecek kaza potansiyelinin belirlenmesini sağlayarak karar vericiye destek sağlayan sistem olarak tanımlanabilir. Metal sektörü için oluşturulacak karar destek sisteminde, en basit şekli ile işyerine özgü bilgiler ile işyerinde mevcut olan tehlikeli durumlar sisteme girdi olarak verilecektir. Sistemin çıktısı ise işyerinde mevcut olabilecek potansiyel kazanın şiddetidir. İşyerlerine ait kaza potansiyeli belirlenerek, işyeri risk haritası oluşturulabilecektir. Böylece kaynakların verimli olarak kullanılması sağlanacak, metal sektöründe faaliyet gösteren işyerlerinde etkin denetimlerin yapılması sağlanabilecektir. Önerilen sistem işyeri denetimlerini gerçekleştiren kamu otoritelerince kullanılabileceği gibi, işyerlerinde görevlendirilen iş sağlığı ve güvenliği profesyonellerini istihdam eden birimler tarafından da kullanılabilecektir. Birimler tarafından, metal sektöründe faaliyet gösteren işyerlerinden elde edilecek kaza verileri ile oluşturulacak DKDS, iş güvenliği uzmanları ve işyeri hekimleri tarafından yapılan işyeri gözetimlerinde tespit edilen tehlikeli olay ve durum gözlemlerine göre yüksek risk teşkil eden işyerlerinin belirlenmesini sağlayacaktır. Böylece birimlerce, bu işyerleri daha sık gözetim altında tutulacak ve işyerlerinde öncelikli olarak düzeltici önlemler alınacaktır.

DKDS çalışana özgü bilgiler yerine işyerine özgü bilgiler ile çalışılacağından, kaza veri tablosunda yer alan değişkenlerden, çalışan ile ilgili olanlar tablodan çıkartılmıştır. Sonuç olarak, DKDS için 32 değişkene sahip ve 192 kaza örneği içeren yeni bir veri tablosu meydana getirilmiştir. Oluşturulan tablo EK-9'da verilmiştir.

DKDS’de girdi olarak kullanılmasına karar verilen 6 adet değişken aşağıdaki şekilde belirtilebilir:

1. alışan Sayısı
2. Tehlike Sınıfı
3. İş Sağlığı ve Güvenliği Kurulu
4. İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetleri (İşyeri Hekimi ve İş Güvenliği Uzmanı)
5. İşyeri Denetim Geçmişi
6. İşyeri Ortam lm

DKDS’de işyerinde mevcut olan tehlikeli olay ve durumlara ilişkin belirlenen 26 adet değişken ise aşağıdaki şekilde belirtilebilir:

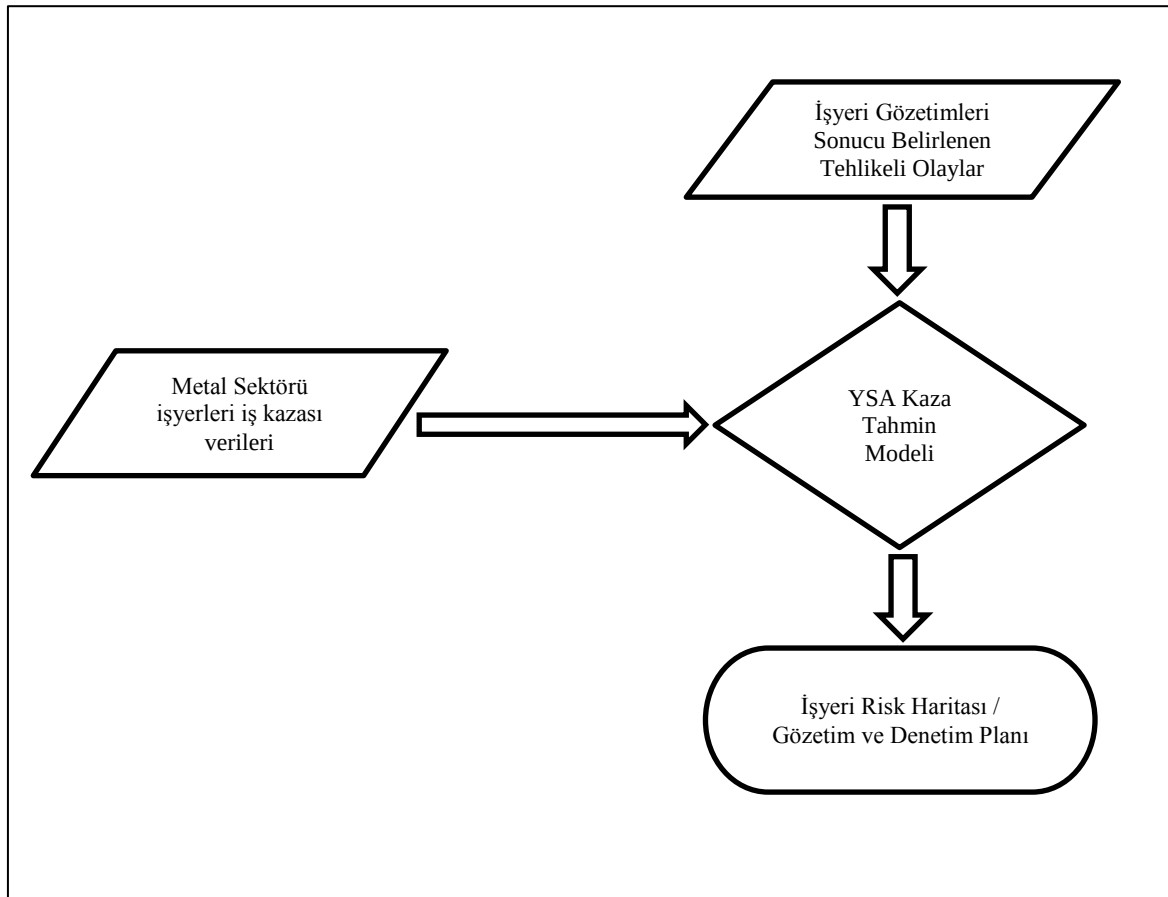
1. Kullanılan İş Ekipmanı Hakkında Eğitim
2. Operasyon Noktasına Temas
3. Hareketli Aksama Temas
4. Bakım ve Onarım
5. Parça Fırlaması Tehlikesi
6. Çift El Kumanda Tertibatı
7. Durdurma Sistemi
8. İş Ekipmanının Sabitlenmesi
9. Ekipman Gösterge ve İkaz Donanımları
10. Sıcak Yüzeye Temas
11. Periyodik Kontrol
12. İş Ekipmanının Ergonomisi
13. Yangın, Parlama ve Patlama Tehlikesi
14. Kimyasal Riskler
15. Elektrik Tehlikesi
16. Kişisel Koruyucu Donanım (KKD)
17. Depolama ve İstifleme
18. Sağlık ve Güvenlik İşaretleri
19. Uygun Ekipman
20. İş Ekipmanı Hakkında Talimat
21. Yüksekte Düşme

- 22. Dikkat ve Güvenlik
- 23. Risk Değerlendirmesi
- 24. Denetim ve Gözetim
- 25. Kaldırma Araçlarında Güvenlik
- 26. Kumanda Sistemi

DKDS'nin çıktısı ise işyerinde meydana gelmesi muhtemel olan 4 farklı kaza sınıfından biridir. Bu sınıflar aşağıdaki şekilde belirtilebilir:

1. Ölümle sonuçlanan iş kazası meydana gelebilir
2. Uzun kaybı ile sonuçlanan iş kazası meydana gelebilir
3. Yaralanma ile sonuçlanan iş kazası meydana gelebilir
4. Hafif yaralanma ile sonuçlanan iş kazası meydana gelebilir

DKDS'nin sürecini gösterir bir akış şeması Şekil 3.13.'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Denetim karar destek sistemi (DKDS) akış şeması

DKDS'nin çıktısı olan işyerindeki olası kaza potansiyelinin tanımlanması için, risk derecelendirme modelinde olduğu gibi, mevcut kaza verilerini en iyi şekilde yorumladığı belirlenen Yapay Sinir Ağı kullanılmaya karar verilmiştir. Buna göre, Matlab R2018b Yapay Sinir Ağı Örüntü Tanıma Fonksiyonu (nprtool) ile çalışılmıştır. DKDS kaza veri tablosunun gözlem sayısı, MSRDM kaza veri tablosu ile aynı olması (192 kaza olayı) nedeniyle, Matlab'da tanımlanacak parametrelerde aynı değerler kullanılmıştır. Buna göre, DKDS için kurulacak Yapay Sinir Ağında; kaza verilerinin %80'i öğrenme, %10'u doğrulama ve %10'u testte kullanılmış ve nöron sayısı 30 olarak belirlenmiştir.

DKDS için kurulan YSA'ya, EK-9'da verilen gözlemlerin öğretilmesi sonucu elde edilen performans sonuçları Çizelge 3.13.'de verilmiştir. Sonuçlara göre, DKDS'nin öğrenmede %80'in üzerinde bir performans gösterildiği anlaşılmaktadır. Geliştirilen YSA temelinde DKDS'nin, örnek verilerle kaza tahmini yapmak üzere oluşturulan Matlab fonksiyonu Ek-10'da verilmiştir.

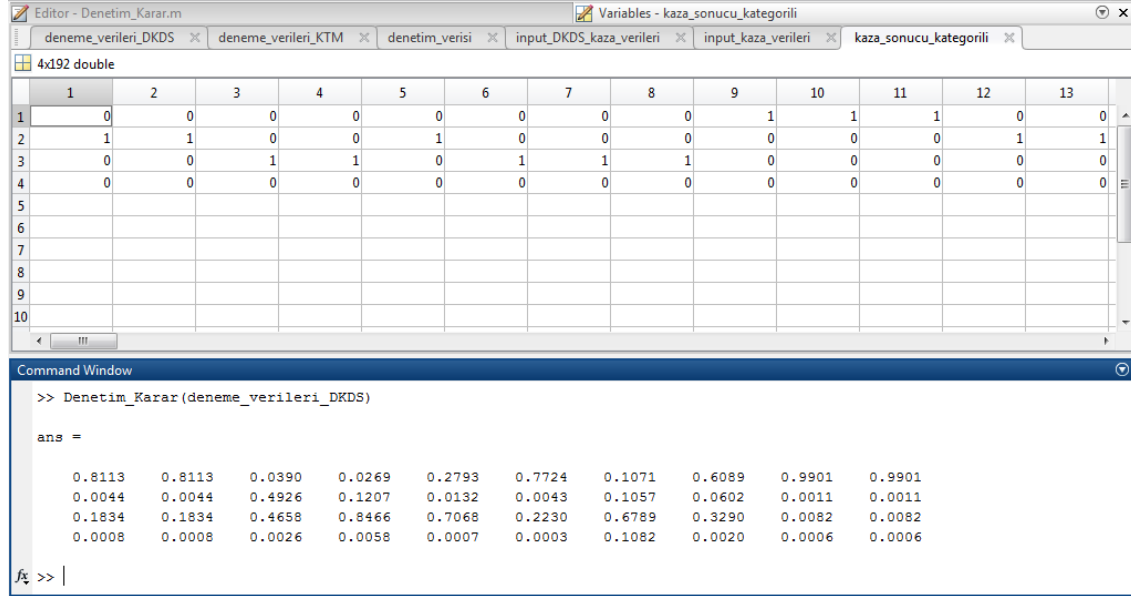
Çizelge 3.13. DKDS Yapay sinir ağı performans sonuçları

Veri Kullanım Amacı	Örnek Sayısı	Hata Oranı (%)*
Öğrenme	154	18,182
Doğrulama	19	42,105
Test	19	26,316

Ayrıca, YSA temelinde kurulan DKDS'nin performansını veriler ile belirlemek üzere EK-9'da yer alan gözlemlerden 10 ila 19'u arasında kalan 10 gözlem deneme verisi olarak seçilmiştir. Seçilen deneme verileri EK-11'de verilmiştir.

Deneme verilerinin YSA temelinde DKDS'ye girdi olarak verilmesi sonucunda tahmin edilen kaza şiddetlerini belirtir Matlab ekran çıktısı Şekil 3.14.'de verilmiştir. Şekil 3.14.'de yer alan sonuçlara göre; her bir sütunda en yüksek değerin verildiği sayı, satırın sırasında yer alan kazanın tahmin edildiğini belirtmektedir. Buna göre örnek vermek gerekirse; DKDS'nin 10 sıra numaralı verideki (birinci sütun) tahmin sonucu en yüksek sayıyı birinci satırda vermesi nedeniyle (0.81131) tahmin sonucu "1: Ölümle sonuçlanan iş kazası meydana gelebilir" şeklindedir.

DKDS'nin tahmin sonuçlarının, veride yer alan kazanın gerçek sonuçları ile kıyaslanması neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 3.14.'de verilmiştir. Sonuçlara göre, geliştirilen YSA DKDS'nin %80 oranında doğru tahminde bulunarak, metal sektörü işyerleri için risk seviyesinin belirlenmesi amacıyla kullanılabilecek etkin bir araç olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 3.14. DKDS YSA deneme verileri tahmin sonucu

Çizelge 3.14. DKDS YSA tahmin sonuçları ile veri kaza sonuçlarının kıyaslaması

Veri Sıra No	Kaza Sonucu	DKDS Tahmin Sonucu	Tahmin Doğruluğu
10	1	1	Doğru
11	1	1	Doğru
12	2	2	Doğru
13	2	3	Yanlış
14	3	3	Doğru
15	1	1	Doğru
16	3	3	Doğru
17	1	1	Doğru
18	1	1	Doğru
19	3	1	Yanlış

4. BULGULAR, DEĞERLENDİRME VE ÖRNEK UYGULAMA

4.1. Kaza Tahmin Modeline İlişkin Bulgular ve Değerlendirme

Metal sektöründe yoğun olarak görülen eksantrik pres¹ ile çalışma örneği, öncelikli olarak yapay sinir ağı temelinde geliştirilen risk derecelendirme modeli ile ele alınmıştır. Yapılan çalışma için modele girdi olarak verilecek veriler belirlenmiştir. Belirlenen veriler ve çalışmadaki iş ekipmanı olan eksantrik prese ait görsel Şekil 4.1.'de verilmiştir.

Eksantrik preslerde iki tip kalıp sistemi bulunmaktadır. Bunlar açık ve kapalı kalıplardır. Açık kalıp sisteminde, koçun (presin inip çıkan parçasının) tablada bağlı olan kalıba inip çıkması ile şekil verme işlemi gerçekleşmektedir. Bu işlem operatör temasına açık gerçekleşmektedir. Kapalı kalıp sisteminde ise bahsedilen şekillendirme işlemi kapalı bir ortamda gerçekleşmektedir. Kapalı kalıp sistemde ise genel olarak operatör temasına açık bir alan bulunmamaktadır. Açık kalıp sistemli preslerde, çalışanın presin operasyon bölgesine fiziksel temasını önlemek amacıyla ellerin boşta olmasına izin verilmemeli, bu nedenle daima çift el kumanda sistemi ile presin çalışması sağlanmalıdır. Şekilde 4.1.'de belirtildiği üzere, örnek olarak verilen iş ekipmanında çift el kumanda tertibatı bulunmaktadır. Ayrıca, presi kullanmakta olan operatörün, ekipman ile ilgili eğitim aldığı belirtilmiştir. Ancak ekipmanda çeşitli riskler meydana getirebilecek tehlikeler mevcuttur. Öncelikle, operatörün el sıkışması riski bulunan metal parçaların işlendiği operasyon bölgesi, koruyucu içerisinde değildir. Bununla birlikte, eksantrik presin üst bölümünde bulunan ve ekipmanın operasyonu sağlayan volan olarak adlandırılan döner aksamlara ait koruyucular bölgeyi yeterli şekilde korumamakta olup, bölgeye fiziksel temas tehlikesi bulunmaktadır.

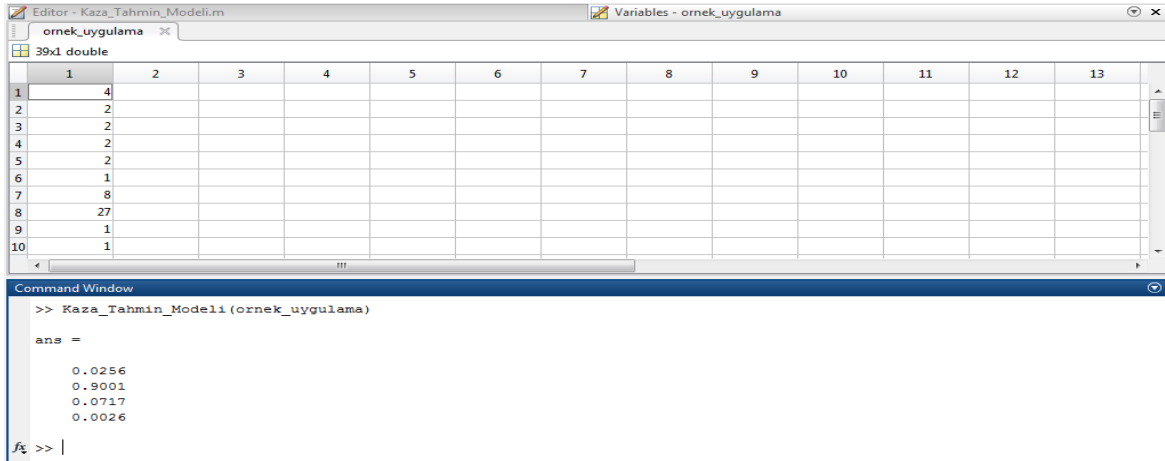
Örnek metal sektörü işyerinde bulunan iş ekipmanında, çift el kumanda tertibatı bulunması sebebiyle, mevcut tehlikelerin önemslenmediği varsayılmıştır. Buna göre; Şekil 4.1.'de belirtilen veriler, Bölüm 3.4.'de tanımlanan Matlab yapay sinir ağı kaza tahmin modeline girdi olarak verilmiştir. Modelin ortaya çıkardığı kaza tahmini çıktısı ise Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.

¹ Eksantrik pres; metal şekillendirme (*delme, kesme, bükme vb.*) işinde kullanılan bir iş ekipmanıdır. Ekipman, sabit bir tabla üzerine yüksek kuvvette inen ve koç olarak tabir edilen makine elemanın ucuna monte edilen kalıplar vasıtasıyla çalışmaktadır. Bu kalıplar ile tabla üzerine yerleştirilen metal iş parçaları üzerinde şekillendirme işlemleri gerçekleştirilmektedir.

İşyeri Çalışan Sayısı	: 156
Tehlike Sınıfı	: Tehlikeli
İSG Kurulu	: Var
İSG Hizmetleri	: Var
İşyeri Denetim Geçmişi	: Denetim görmemiş
Ortam Ölçüm Raporu	: Yok
Çalışanın Görevi	: Pres operatörü
Çalışan Tecrübe Yılı	: 8
Çalışan Yaşı	: 27
Çalışma Saati	: Sabah (Tek Vardiya)
Öğrenim Durumu	: İlk
Mesleki Eğitim	: Yok
İSG Eğitimi	: Var
Sağlık Muayenesi	: Var
İş Ekipmanı	: Eksantrik Pres
Ekipmanda Mevcut	: Çift el kumanda tertibatı var, ekipman ile ilgili eğitim
Güvenlik Donanımları	: verilmiştir
Ekipmanda Mevcut	: Operasyon bölgesine fiziksel temas tehlikesi (açık kalıp
Tehlikeler	: kullanılmakta), döner aksama fiziksel temas tehlikesi



Şekil 4.1. Eksantrik preste çalışma örneği



Şekil 4.2. Eksantrik preste çalışma kaza tahmin modeli çıktısı

Şekil 4.2.'de verilen kaza tahminine göre, “2” numaralı kategoriye sahip “uzuv kayıplı” iş kazası 0,9 ile en yüksek değere sahiptir. Sonraki yüksek değere sahip kaza kategorisi ise 0,07 olasılık ile “3” numara ile “yaralanmalı” iş kazasıdır. Bu durumda, kaza tahmin modelinin Şekil 4.1.'de belirtilen tehlikeli durum için ortaya çıkabilecek kaza şiddet tahmini “uzuv kayıplı” iş kazasıdır. Şekil 4.1.'de belirtildiği üzere iş ekipmanında, çift el kumanda tertibatı gibi temel güvenlik sistemine sahip olunmasına rağmen, risk bertaraf edilmemiştir ve önemli derecede risk halen mevcuttur. Ortaya çıkan bu sonuç çalışmanın amacını da desteklemektedir. Metal sektöründe tehlikenin ortaya konan temel güvenlik önlemleriyle bertaraf edildiği düşünülmesine rağmen, önemsenmeyen tehlikelerden dolayı sektörde yürütülen örnek iş adımı önemli riskler mevcut olduğu belirlenmiştir. Bu durum, sektörde meydana gelen iş kazalarının sayısının yüksek olmasını da beraberinde getirmektedir.

Şekil 4.1.'de belirtilen verilerde çeşitli değişiklikler yapılarak ortaya çıkan kaza şiddetinin azaltılmasında hangi faktörlerin önemli olduğu ortaya konulmaya çalışılmalıdır. Bu kapsamda pres operatörünün yaş ve tecrübe yılının artırılması, mesleki eğitime sahip olması ve ekipmanda iyileştirme yapılması durumları neticesinde ortaya çıkabilecek sonuçlar yapılan duyarlılık analizi ile değerlendirilmiştir. Veri girdisinde yapılan değişiklikler ve Matlab YSA kaza tahmin modeli ile verilerin denemesi sonucu ortaya çıkan sonuçlar Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1.'de verilen model sonuçları değerlendirildiğinde, çalışanın yaşı ile birlikte tecrübe yılının artmasının ağır sonuca sahip uzuv kayıplı iş kazası meydana gelme riskini azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca çalışanın mesleki eğitime sahip olması durumunda, ortaya çıkabilecek kaza şiddetinin hafiflediği ve yaralanma ile sonuçlanabilen iş kazasının ortaya çıkabileceği belirlenmiştir.

Çizelge 4.1.'de verilen sonuçlarda, iş ekipmanında iyileştirilme yapılması ise 4 numaralı durumda gösterilmiştir. Buna göre örnekte kullanılmakta olan iş ekipmanı olan eksantrik preste, döner aksamında iyileştirme yapılarak operatör tarafından fiziksel temas tehlikesinin bertaraf edilmesi durumunda, uzuv kaybı ile sonuçlanan iş kazası meydana gelme olasılığının azaldığı ve daha düşük bir etkiye sahip olan yaralanma ile sonuçlanan iş kazası meydana gelme olasılığının ise arttığı görülmektedir.

Sonuç olarak, kaza tahmin modelinin yapılan iyileştirmeler karşısında olumlu sonuçlar ortaya koyduğu, bu nedenle gerçek durumu yansıtacak şekilde çalıştığı anlaşılmıştır. Bununla birlikte, geliştirilen modelin örnekte olduğu gibi sektörde önemseyen tehlikelerin sonuçlarının analizi için uygun bir araç olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Kaza tahmin modeli duyarlılık analizi

Veride Yapılan Değişiklik		Kaza Sonucu Tahmini	Kaza Etkisi (S)
#1	Değişiklik Yok	1- 0,0256 2- 0,9001 3- 0,0717 4- 0,0026	Uzuv Kaybı (2)
#2	Çalışan Tecrübe Yılı: 18, Çalışan Yaşı: 37	1- 0,0361 2- 0,8611 3- 0,0980 4- 0,0048	Uzuv Kaybı (2)
#3	Mesleki Eğitim: Var	1- 0,1615 2- 0,1467 3- 0,6870 4- 0,0047	Yaralanma (3)
#4	Preste döner aksam (volan) fiziksel teması önlemek üzere kapatılmıştır	1- 0,0230 2- 0,6486 3- 0,3242 4- 0,0041	Uzuv Kaybı (2)

4.2. Risk Derecelendirme Modeline İlişkin Örnek Uygulama ve Değerlendirme:

4.2.1. Örnek metal sektörü işletmesi hakkında bilgiler

Risk derecelendirme modeli ile ilgili olarak yapılacak uygulamada; fabrikasyon metal sektöründe faaliyet gösteren bir işletme örnek olarak seçilmiştir. İşletme, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kapsamında yayımlanmış olan İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği'ne göre "Tehlikeli" sınıfta yer alan bir işyeridir.

İşletmede toplam 156 çalışan bulunmaktadır. 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 22'nci maddesine göre, elliden fazla çalışan bulunan işyerinde iş sağlığı ve güvenliği kurulu bulunmaktadır. Bununla birlikte işyerinde, iş güvenliği uzmanı ve işyeri hekimi istihdam edilerek iş sağlığı ve güvenliği hizmeti alınmaktadır. İşletmede öncesinde denetim yapılmadığı ve işyeri ortam ölçümüne ilişkin herhangi bir deney yapılarak raporlandırılmadığı varsayılmıştır.

İşletmede mevcut olan çalışma adımları aşağıda sıralanmıştır:

1. Metal Şekillendirme: Bu adımda işyerine ulaşan sac levhalar, öncelikle plazma kesim makinesi ile istenen boyut ve şekillere dönüştürülmektedir. Sonrasında, istenen boyuta dönüştürülen metal parçalara büküm ve şekillendirme işlemleri eksantrik pres ile yapılmaktadır. Son olarak, metal parçalarda cıvata delikleri sütunlu matkap yardımı ile açılmaktadır.
2. Metal Temizleme: Bu adımda istenen şekil ve ebatlara dönüştürülen metal parçalar, çeşitli kimyasallar yardımıyla kapalı sisteme sahip ve işyeri ortamına kimyasal buharı sızıntısı ihtimali olmayan ekipmanlar ile temizlenerek boyaya hazır hale getirilmektedir.
3. Metal Boyama: Bu adımda metal parçaların boyama işlemi yapılarak, ortaya çıkan metal mamuller sevkiyata hazır hale getirilmektedir.

4.2.2. Çalışma adımlarında mevcut tehlikelerin belirlenmesi

İşletmede mevcut olan iş adımlarında, mevcut olan tehlikeler belirlenmiştir. Öncelikle, Şekil 4.3.'de verilen eksantrik preste çalışma faaliyeti ele alınmıştır. Eksantrik preste görev yapan pres operatörünün; 27 yaşında olduğu, 8 yıllık çalışma tecrübesine sahip olduğu, çalışmanın tek vardiya olduğu, operatörün ilkökul mezunu olduğu, pres operatörlüğü alanında mesleki eğitime sahip olmadığı, iş sağlığı ve güvenliği eğitiminin verildiği ve sağlık muayenesinin yapıldığı varsayılmıştır. Ekipmanda mevcut olan tehlikeler Bölüm 4.1.'de verilen uygulamada yer alan bilgiler ile aynı kabul edilmiştir. İş ekipmanında gözlemlenen tehlikeler Şekil 4.3.'de belirtilmiştir.

Uygulama #1

Çalışanın Görevi	: Pres Operatörü
Çalışan Tecrübe Yılı	: 8
Çalışan Yaşı	: 27
Çalışma Saati	: Sabah (Tek Vardiya)
Öğrenim Durumu	: İlk
Mesleki Eğitim	: Yok
İSG Eğitimi	: Var
Sağlık Muayenesi	: Var
İş Ekipmanı	: Eksantrik Pres
Ekipmanda Mevcut Güvenlik Donanımları	: Çift el kumanda tertibatı var, ekipman ile ilgili eğitim verilmiştir.
Ekipmanda Mevcut Tehlikeler	: Operasyon bölgesine fiziksel temas tehlikesi (açık kalıp kullanılmakta), döner aksama fiziksel temas tehlikesi



Şekil 4.3. Örnek uygulama 1 (eksantrik preste çalışma)

İkinci olarak, metal temizlemede kullanılan kimyasalların bulunduğu kimyasal malzeme deposunda mevcut olan tehlikeler belirlenmiştir. Depoda görev yapan çalışana ilişkin bilgiler ile iş adımıda mevcut olan güvenlik donanımları ve alanda mevcut olan tehlikeler Şekil 4.4.'de belirtilmiştir.

Uygulama #2

Çalışanın Görevi	: Depo Sorumlusu
Çalışan Tecrübe Yılı	: 2
Çalışan Yaşı	: 20
Çalışma Saati	: Gece (Depo için 3 vardiya)
Öğrenim Durumu	: Lise
Mesleki Eğitim	: Yok
İSG Eğitimi	: Var
Sağlık Muayenesi	: Var
Çalışma Alanı	: Kimyasal Malzeme Deposu
Alanda Mevcut Güvenlik Donanımları	: İstifleme yükseklikleri uygun, zeminde taşma havuzuna sahip paletler var, kimyasal risk değerlendirmesi yapılmış, KKD kullanılıyor
Alanda Mevcut Tehlikeler	: Elektrik tesisatı ve elektrikli ekipmanlar uygun değil (exproof olmayan havalandırma fanı bulunmakta), sağlık ve güvenlik işaretleri yok



Şekil 4.4. Örnek uygulama 2 (kimyasal malzeme deposu)

Metal parçaların şekillendirmesinde kullanılan CNC plazma kesim tezgahında görev yapan çalışana ilişkin bilgiler ile iş adımı mevcut olan güvenlik donanımları ve tehlikeler Şekil 4.5.'de belirtilmiştir.

Uygulama #3		
Çalışanın Görevi	: CNC Plazma Operatörü	
Çalışan Tecrübe Yılı	: 13	
Çalışan Yaşı	: 35	
Çalışma Saati	: Sabah (Tek Vardiya)	
Öğrenim Durumu	: Lise	
Mesleki Eğitim	: Var	
İSG Eğitimi	: Var	
Sağlık Muayenesi	: Var	
İş Ekipmanı	: CNC Plazma Kesim	
Ekipmanda Mevcut Güvenlik Donanımları	: Lokal havalandırma tesisatı mevcuttur, operatöre ekipman hk. Eğitim verilmiştir	
Ekipmanda Mevcut Tehlikeler	: Tehlikeli bölgeye giriş engellenmemiştir, elektrikle temas riski	

Şekil 4.5. Örnek uygulama 3 (cnc plazmada çalışma)

Metal parçalarda cıvata delikleri açmak için kullanılan sütunlu matkap isimli ekipmanda çalışan operatör hakkında bilgiler ile iş adımı mevcut olan tehlikeler, Şekil 4.6.'da belirtilmiştir.

Uygulama #4		
Çalışanın Görevi	: Bakım Atölyesi Operatörü	
Çalışan Tecrübe Yılı	: 0 (Tecrübe Yok)	
Çalışan Yaşı	: 28	
Çalışma Saati	: Sabah (Tek Vardiya)	
Öğrenim Durumu	: Orta	
Mesleki Eğitim	: Yok	
İSG Eğitimi	: Yok	
Sağlık Muayenesi	: Yok	
İş Ekipmanı	: Sütunlu Matkap	
Ekipmanda Mevcut Güvenlik Donanımları	: Mevcut Değil	
Ekipmanda Mevcut Tehlikeler	: Mandren koruyucusu yoktur, parça sıçramasına karşı siperlik yoktur, zemine sabitlenmemiştir, döner aksam (kayış kasnak bölümü) açıktadır, acil durdurma sistemi yok	

Şekil 4.6. Örnek uygulama 4 (sütunlu matkapta çalışma)

Şekillendirilmesi tamamlanan metal parçaların boyama işleminin yapıldığı boyahane görev yapan çalışana ilişkin bilgiler ile iş adımı mevcut olan tehlikeler hakkında bilgiler ise Şekil 4.7.'de verilmiştir.

Uygulama #5		
Çalışanın Görevi	: Boyacı	
Çalışan Tecrübe Yılı	: 1	
Çalışan Yaşı	: 20	
Çalışma Saati	: Sabah (Tek Vardiya)	
Öğrenim Durumu	: Lise	
Mesleki Eğitim	: Var	
İSG Eğitimi	: Var	
Sağlık Muayenesi	: Var	
Çalışma Alanı	: Boyahane	
Alanda Mevcut Güvenlik Donanımları	: Yok	
Alanda Mevcut Tehlikeler	Elektrik tesisatı ve elektriksel ekipmanlar uygun değil (exproof olmayan havalandırma fanı bulunmakta), topraklama yapılmamış, kişisel koruyucu donanım (KKD) kullanılmıyor	

Şekil 4.7. Örnek uygulama 5 (boyahane)

4.2.3. Olası kaza şiddetinin belirlenmesi

İşletmede belirlenen çalışma adımlarında belirlenen beş adet tehlikeli durum, Matlab ile geliştirilen YSA kaza tahmin modeli fonksiyonuna (EK-7) girdi olarak verilmiştir. Model tarafından olası kaza tahminlerine ilişkin elde edilen sonuçlara ilişkin ekran görüntüsü Şekil 4.8.'de verilmiştir.

Şekil 4.8.'de verilen sonuçlara göre;

- Birinci uygulamada yer alan eksantrik preste çalışmada mevcut tehlikeler için olası kaza şiddeti en yüksek değere sahip 2 numaralı kategoride yer alan “uzuv kayıplı” iş kazasıdır.
- İkinci uygulamada yer alan kimyasal malzeme deposunda mevcut tehlikeler için olası kaza şiddeti en yüksek değere sahip 3 numaralı kategoride yer alan “yaralanmalı” iş kazasıdır.

- Üçüncü uygulamada yer alan CNC plazmada yapılan çalışmada mevcut tehlikeler için olası kaza şiddeti en yüksek değere sahip 3 numaralı kategoride yer alan “yaralanmalı” iş kazasıdır.
- Dördüncü uygulamada yer alan sütunlu matkapta yapılan çalışmada mevcut tehlikeler için olası kaza şiddeti en yüksek değere sahip 2 numaralı kategoride yer alan “uzuv kayıplı” iş kazasıdır.
- Beşinci uygulamada yer alan boyahanede mevcut tehlikeler için olası kaza şiddeti en yüksek değere sahip 3 numaralı kategoride yer alan “yaralanmalı” iş kazasıdır.

risk_derecelendirme_ornek

39x5 double

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	2	2	2	2	2	2							
4	2	2	2	2	2	2							
5	2	2	2	2	2	2							
6	1	1	1	1	1	1							
7	8	2	13	0	1								
8	27	20	35	28	20								
9	1	4	1	1	1								
10	1	3	3	2	3								
11	1	1	2	1	2								
12	2	2	2	1	2								

Command Window

```
>> Kaza_Tahmin_Modeli(risk_derecelendirme_ornek)

ans =

    0.0256    0.3672    0.4178    0.0004    0.1058
    0.9001    0.1744    0.0500    0.9450    0.0012
    0.0717    0.4550    0.5251    0.0193    0.8928
    0.0026    0.0034    0.0071    0.0353    0.0002

fx >>
```

Şekil 4.8. Örnek uygulama kaza tahmin modeli çıktısı

4.2.4. Risklerin derecelendirmesi

Finey Kinney risk değerlendirmesi metodu altyapısı kullanılarak geliştirilen Metal Sektörü Risk Derecelendirme Modeli (MSRDM) ile örnek metal sektörü işletmesinde mevcut olan riskler derecelendirilebilecektir. Bu kapsamda, öncelikle belirlenen tehlikeler için Bölüm 4.2.3.'de bulunan olası kaza şiddetleri, Bölüm 3.5.'de belirtilen dönüşüm çizelgesi (Çizelge 3.12) ile Fine-Kinney etki değerine dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm sonucunda elde edilen şiddet tablosu Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Örnek uygulama olası kaza şiddetleri FKY etki değeri dönüşümü

Uygulama No	Olası Kaza Şiddeti Kategorisi (Sk)	Fine Kinney Etki Değeri (S)
#1	2	15
#2	3	7
#3	3	7
#4	2	15
#5	3	7

Sonrasında, her bir uygulamada yer alan tehlikeler için Bölüm 3.5.’de verilen Çizelge 3.8. ve Çizelge 3.10. kullanılarak kaza sonucuna göre görülme sıklıkları (Fk) ve meydana gelme olasılıkları (Pk) belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler ile her bir tehlike için olası kaza şiddeti (Sk) Çizelge 4.3.’de verilmiştir.

Örnek işletmede risklerin derecelendirmesi için Bölüm 3.5.’de verilen (Çizelge 3.9., Çizelge 3.11. ve Çizelge 3.12.) dönüşümler kullanılarak FKY değerleri bulunmuştur. Bulunan değerler kullanılarak her bir tehlike için risk puanları hesaplanmıştır. Örnek uygulama için yapılan risk derecelendirmesi, Çizelge 4.4.’de verilmiştir.

Çizelge 4.4.’de verilen sonuçlara göre;

- İş ekipmanlarında, operasyon bölgesine erişimin kısıtlanmaması tehlikesinin en yüksek risk derecesine sahiptir. Fine Kinney tanımlamasına göre bu tehlike sonucu ortaya çıkabilecek riskler; “Ciddi Risk” kategorisinde yer almaktadır.
- Plazma kesim ekipmanında tehlikeli bölgeye erişimin engellenmemesi, sütunlu matkapta siperlik ve acil durdurma sisteminin bulunmaması ve boyahanede KKD kullanılmaması tehlikeleri sonucu ortaya çıkacak riskler ise Fine Kinney tanımlamasına göre “önemli risk” kategorisinde yer almaktadır.

Örnek uygulamada yer alan risklerin yüksekten düşüğe derecelendirmesi Çizelge 4.5.’de verilmiştir. Çizelgede verilen risk puanlarına göre, metal sektöründe basit yapıda olması nedeniyle çoğunlukla tehlikelerin önemsenmediği iş ekipmanları ile yürütülen iş adımlarında, risk seviyesi karmaşık olanlara göre daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Örnek uygulama kaza verileri ve kaza tahmin modeli değerleri

No	Bölüm/Ekipman	Tehlike	Kazanın Meydana Gelme Sıklığı (Fk)	Kaza Olasılığı (Pk)	Şiddet (Sk)
#1	Eksantrik Pres	Operasyon Bölgesine Erişimin Engellenmemesi (Açık Kalıp ile Çalışma)	8,5	0,57	2
#1	Eksantrik Pres	Döner/hareketli Aksama Erişim	1	0,25	2
#2	Kimyasal Deposu	Elektrik tesisatı ve elektriksel ekipmanlar uygun olmaması (exproof olmayan havalandırma fanı bulunmakta)	2	0,44	3
#2	Kimyasal Deposu	Sağlık ve Güvenlik İşaretlerinin Bulunmaması	1,5	0,25	3
#3	CNC Plazma	Tehlikeli Bölgeye Girişin Engellenmemesi	6	0,4	3
#3	CNC Plazma	Elektrikle temas riski (gövde topraklaması yapılmamış olması, tali pano kaçak akım koruma rölesi olmaması)	2	0,44	3
#4	Sütunlu Matkap	Mandren koruyucusu yoktur	8,5	0,57	2
#4	Sütunlu Matkap	Parça sıçramasına karşı siperlik yoktur	2	0,57	2
#4	Sütunlu Matkap	Zemine Sabitlenmemiştir	0,5	0,5	2
#4	Sütunlu Matkap	Döner aksam (kayış kasnak bölümü) açıktadır	1	0,25	2
#4	Sütunlu Matkap	Acil Durdurma Sistemi yoktur	3	0,46	2
#5	Boyahane	Elektrik tesisatı ve elektriksel ekipmanlar uygun değil (exproof olmayan havalandırma fanı bulunmakta/yangın ve patlama tehlikesi)	2,5	0,45	3
#5	Boyahane	Topraklama yapılmaması (elektrikle temas tehlikesi)	2	0,44	3
#5	Boyahane	KKD kullanılmaması	3	0,57	3

Çizelge 4.4. Örnek uygulama risklerin derecelendirmesi (FKY puanlaması)

No	Bölüm/Ekipman	Tehlike	F.K. Sıklık değeri (F)	F.K. Olasılık değeri (P)	F.K. Etki değeri (S)	F.K. Risk puanı (R)
#1	Eksantrik Pres	Operasyon Bölgesine Erişimin Engellenmemesi (Açık Kalıp ile Çalışma)	6	3	15	270
#1	Eksantrik Pres	Döner/hareketli Aksama Erişim	1	1	15	15
#2	Kimyasal Deposu	Elektrik tesisatı ve elektriksel ekipmanlar uygun olmaması (exproof olmayan havalandırma fanı bulunmakta)	2	3	7	42
#2	Kimyasal Deposu	Sağlık ve Güvenlik İşaretlerinin Bulunmaması	1	1	7	7
#3	CNC Plazma	Tehlikeli Bölgeye Girişin Engellenmemesi	6	3	7	126
#3	CNC Plazma	Elektrikle temas riski (gövde topraklaması yapılmamış olması, tali pano kaçak akım koruma rölesi olmaması)	2	3	7	42
#4	Sütunlu Matkap	Mandren koruyucusu yoktur	6	3	15	270
#4	Sütunlu Matkap	Parça sıçramasına karşı siperlik yoktur	2	3	15	90
#4	Sütunlu Matkap	Zemine Sabitlenmemiştir	0,5	3	15	22,5
#4	Sütunlu Matkap	Döner aksam (kayış kasnak bölümü) açıktadır	1	1	15	15
#4	Sütunlu Matkap	Acil Durdurma Sistemi yoktur	3	3	15	135
#5	Boyahane	Elektrik tesisatı ve elektriksel ekipmanlar uygun değil (exproof olmayan havalandırma fanı bulunmakta/yangın ve patlama tehlikesi)	2	3	7	42
#5	Boyahane	Topraklama yapılmaması (elektrikle temas tehlikesi)	2	3	7	42
#5	Boyahane	KKD kullanılmaması	6	3	7	126

Çizelge 4.5. Örnek uygulama tehlikelere ilişkin risklerin derecelendirmesi

No	Bölüm/Ekipman	Tehlike	F.K. Risk Puanı (R)
#1	Eksantrik Pres	Operasyon Bölgesine Erişimin Engellenmemesi (Açık Kalıp ile Çalışma)	270
#4	Sütunlu Matkap	Mandren koruyucusu yoktur	270
#4	Sütunlu Matkap	Acil Durdurma Sistemi yoktur	135
#3	CNC Plazma	Tehlikeli Bölgeye Girişin Engellenmemesi	126
#5	Boyahane	KKD kullanılmaması	126
#4	Sütunlu Matkap	Parça sıçramasına karşı siperlik yoktur	90
#2	Kimyasal Deposu	Elektrik tesisatı ve elektriksel ekipmanlar uygun olmaması (exproof olmayan havalandırma fanı bulunmakta)	42
#3	CNC Plazma	Elektikle temas riski (gövde topraklaması yapılmamış olması, tali pano kaçak akım koruma rölesi olmaması)	42
#5	Boyahane	Elektrik tesisatı ve elektriksel ekipmanlar uygun değil (exproof olmayan havalandırma fanı bulunmakta/yangın ve patlama tehlikesi)	42
#5	Boyahane	Topraklama yapılmaması (elektikle temas tehlikesi)	42
#4	Sütunlu Matkap	Zemine Sabitlenmemiştir	22,5
#1	Eksantrik Pres	Döner/hareketli Aksama Erişim	15
#4	Sütunlu Matkap	Döner aksam (kayış kasnak bölümü) açıktadır	15
#2	Kimyasal Deposu	Sağlık ve Güvenlik İşaretlerinin Bulunmaması	7

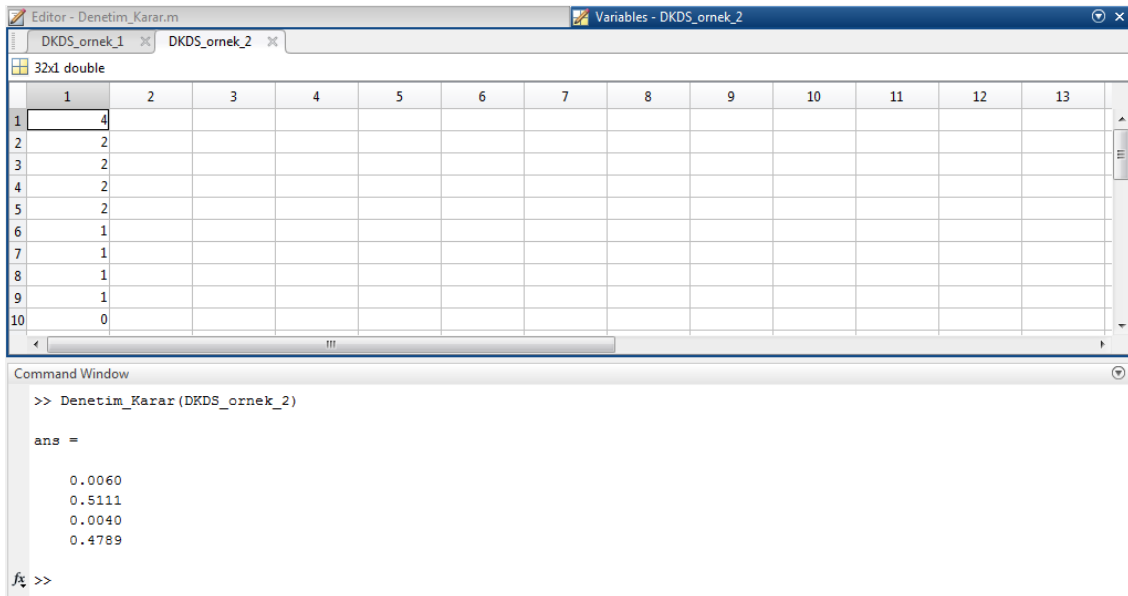
4.3. Denetim Karar Destek Sistemine İlişkin Örnek Uygulama ve Değerlendirme

Bölüm 4.2.1.'de tanımı yapılan örnek metal sektörü işyerinde, iş sağlığı ve güvenliği profesyonellerince yapılan gözetim sonucunda aşağıda belirtilen tehlikeli durumların mevcut olduğu varsayılmıştır:

1. İşyerinde Ortam Ölçümü yapılamamıştır.
2. İş Ekipmanları ile ilgili eğitim verilmemiştir.
3. İş Ekipmanlarında operasyon noktası ve hareketli aksamalara temas riskine karşı koruyucu bulunmamaktadır.
4. İş ekipmanlarında parça fırlamasına karşı siperlik ve benzeri koruyucu donanım bulunmamaktadır.
5. İş ekipmanları düşmeye karşı sabitlenmemiştir.
6. Boyahane ve kimyasal deposunda patlamayı önleyici nitelikte (exproof) ekipman kullanılmamaktadır.
7. İş ekipmanlarında elektikle temas riskine karşı önlem alınmamıştır.

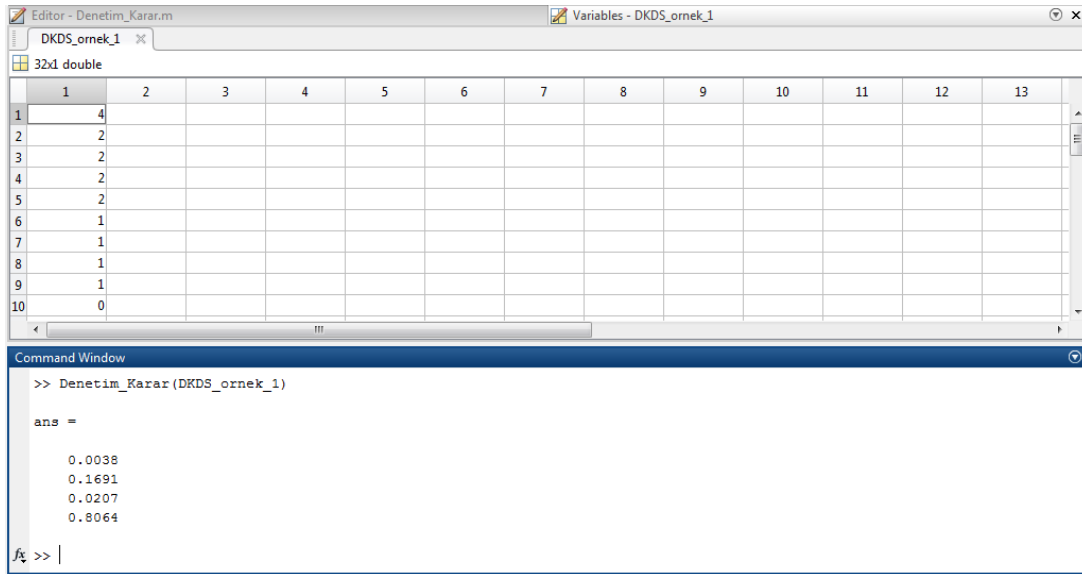
8. Kişisel koruyucu donanımlar (baret, solunum koruyucu maske, işitme koruyucu kulaklık, vb.) çalışanlar tarafından kullanılmamaktadır.
9. İşyeri genelinde çalışanlarda dikkat ve özen eksikliği vardır.
10. İşveren işletme tarafından işyerinde iş sağlığı ve güvenliği bakımından yeterli düzeyde gözetim ve denetim sağlanmamaktadır.

Tespit edilen tehlikeler, EK-10'da verilen DKDS YSA model fonksiyonuna girdi olarak verilmiştir. DKDS çıktısına ait Matlab çıktısı ekran görüntüsü Şekil 4.9.'da verilmiştir. Çıktı sonucuna göre, tespit edilen tehlikeler sonucunda işyerinde en yüksek sayılı "0,5111" ikinci kategoride yer alan "Uzuv kaybı ile sonuçlanan iş kazası" meydana gelmesi tahmini ortaya çıkmıştır. Sonrasında en yüksek sayıya sahip iş kazası ihtimali ise dördüncü kategoride yer alan "hafif yaralanma ile sonuçlanan iş kazası meydana gelebilir" tahminidir.



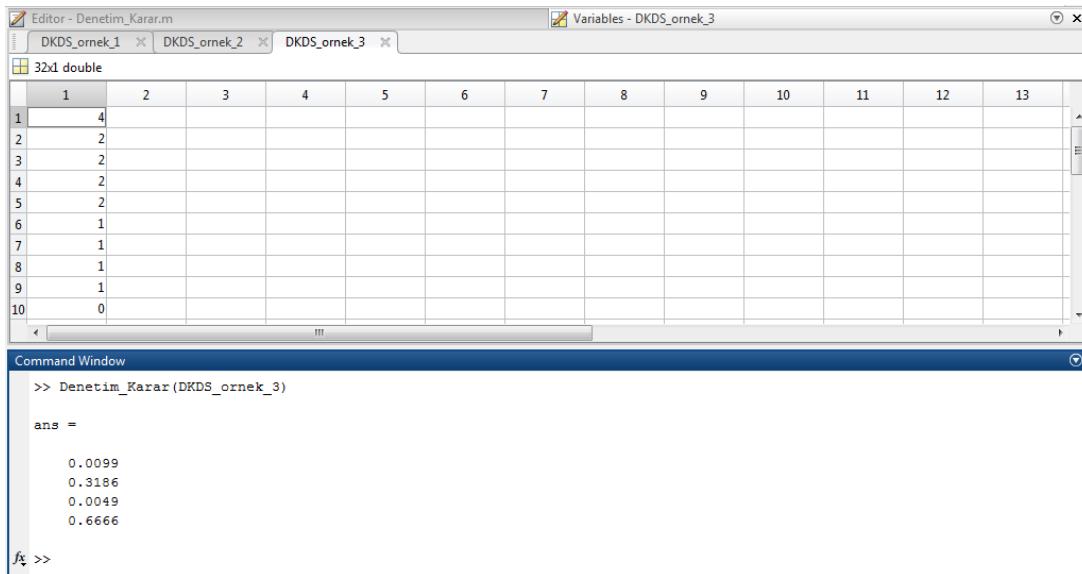
Şekil 4.9. Örnek işyeri DKDS çıktısı

Tespit edilen tehlikelerden 9 numaralı "işyeri genelinde çalışanlarda dikkat ve özen eksikliği vardır" tespitinin bulunmaması durumunda, DKDS'nin tahminine ait ekran görüntüsü ise Şekil 4.10'da verilmiştir. Tahmin sonucuna göre; kaza şiddetinin, işyerinde çalışanlarda gerekli iş sağlığı ve güvenliği bilincinin sağlanması ile en yüksek sayı olan "0,8064" ün ait olduğu dört numaralı kategoride yer alan "hafif yaralanma ile sonuçlanan iş kazası meydana gelebilir" iş kazası potansiyeline indirgendiği görülmektedir.



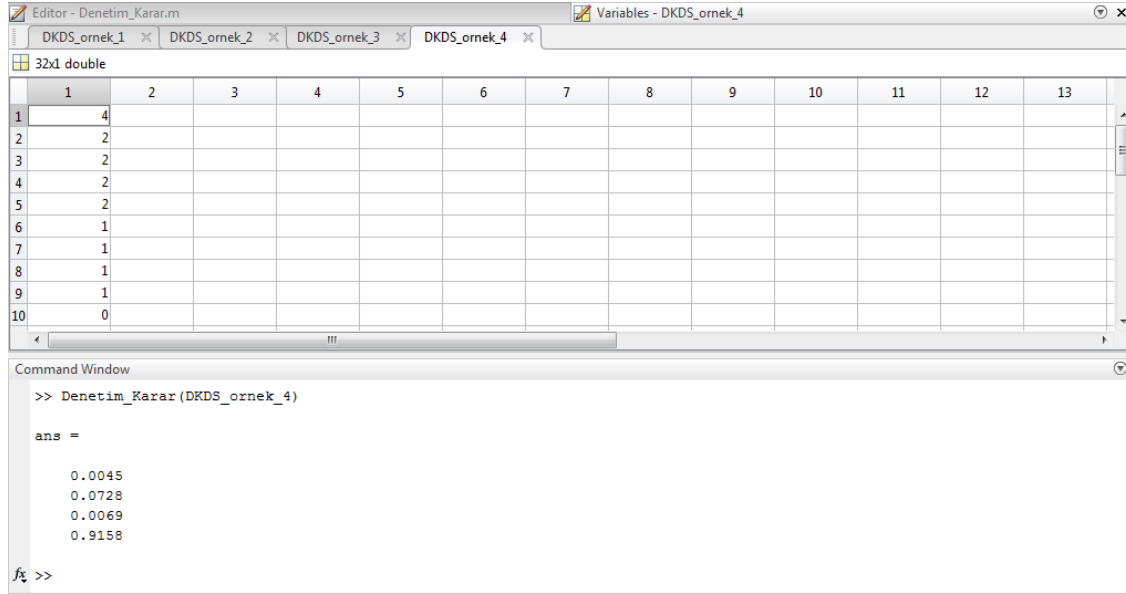
Şekil 4.10. Örnek işyeri DKDS çıktısı (dikkat ve özen eksikliği tehlikesinin bulunmaması durumu)

Tehlikeli durumlardan 10 numaralı “işveren işletme tarafından işyerinde iş sağlığı ve güvenliği bakımından yeterli düzeyde gözetim ve denetim sağlanmamaktadır” tespitinin tehlikelerden çıkartılmıştır. Bu durumda; tahmin sonucunun yine “hafif yaralanma ile sonuçlanan iş kazası meydana gelebilir” iş kazası potansiyelinin olduğu en yüksek sayı değeri olan dört numaralı kategoriye ait “0,6666” bulunmuştur. Elde edilen DKDS tahminine ait ekran görüntüsü Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Örnek işyeri DKDS çıktısı (işveren işletme tarafından işyerinde iş sağlığı ve güvenliği bakımından yeterli düzeyde gözetim ve denetim sağlanmamaktadır tehlikesinin bulunmaması durumu)

Son olarak, insan hatasının tümüyle bertaraf edildiği 9 ve 10 numaralı tespitlerin bulunmadığı durumda DKDS tahmini yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara ilişkin ekran görüntüsü ise Şekil 4.12.’de verilmiştir. Bulunan sonuçlara göre; tahmin sonucu en yüksek sayı değeri olan dört numaralı kategoriye ait “0,9158” ile “hafif yaralanma ile sonuçlanan iş kazası meydana gelebilir” bulunmuştur.



Şekil 4.12. Örnek işyeri DKDS çıktısı (insan hatasının bertaraf edilmiş olması durumu)

DKDS ile yapılan örnek uygulamaya ilişkin sonuçlar Çizelge 4.6.’da özetlenmiştir. Çizelge 4.6.’da özetlenen sonuçlara göre, işveren ve çalışan tarafından gerekli dikkatin gösterilmesi durumunda, işyerinde kaza şiddeti önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Özellikle her iki tarafın, gerekli çabayı harcaması halinde DKDS tahmininin Şekil 4.12.’de belirtilen, 1’e en yakın değer olan 0,9158’e ulaştığı görülmektedir. Bununla birlikte, çalışanlarda gerekli iş sağlığı ve güvenliği bilinci temin edilerek, çalışmalarında özen ve dikkat eksikliğinin bertaraf edildiği durumda kaza şiddetinin önemli ölçüde azaldığı da anlaşılmaktadır. Sonuç olarak yapılan analiz ile metal sektöründe ciddi kazaların önüne geçilmesinin; işveren ve çalışanlardan kaynaklı hataların önlenmesi ile önemli seviyede ilişkili olduğu da anlaşılmıştır.

Çizelge 4.6. DKDS örnek uygulama sonuçları

Giderilen Tehlikeli Durum		Kaza Sonucu Tahmini	Potansiyel Kaza
#1	Yok	1- 0,0060 2- 0,5111 3- 0,0040 4- 0,4789	Uzuv Kaybı (2)
#2	“çalışanlarda dikkat ve özen eksikliği vardır” tehlikesinin giderilmesi durumu	1- 0,0038 2- 0,1691 3- 0,0207 4- 0,8064	Hafif Yaralanma (4)
#3	“iş sağlığı ve güvenliği bakımından yeterli düzeyde gözetim ve denetim sağlanmamaktadır” tehlikesinin giderilmesi durumu	1- 0,0099 2- 0,3186 3- 0,0049 4- 0,6666	Hafif Yaralanma (4)
#4	İnsan hatasına bağlı tehlikelerin giderilmesi durumu	1- 0,0045 2- 0,0728 3- 0,0069 4- 0,9158	Hafif Yaralanma (4)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Geçmişte iş sağlığı ve güvenliği yönünden yürütülen programlarda, meydana gelen olaylar sonrasında tedbirlerin alındığı tepkisel yaklaşımlar, günümüzde yerini tehlikelerin tespit edilmesiyle tedbirlerin alındığı önleyici yaklaşımlara bırakmıştır. Bu yaklaşımlar çerçevesinde kuşkusuz en önemli pay risk analizi ve değerlendirmesi araçlarına aittir. Araçların etkinliğini ve performansı ise işletmelerde tespit edilen tehlikeler sonucu ortaya çıkabilecek risklerin derecelendirmesine bağlıdır. Sektörler arasında en yüksek oranda iş kazasının gözlemlendiği metal sektöründe, önemsenmeyen tehlikelerden kaynaklanacak kazalarının önlenmesi, risklerin objektif yöntemlerle derecelendirilmesi ve doğru işyerlerinde etkin risk yönetim programlarının izlenmesi ile mümkündür.

Bu çalışma kapsamında, metal sektörü işyerlerine ait kaza verileri kullanılarak, gelişmiş bir makine öğrenim algoritması olan yapay sinir ağları ile kaza tahmin modeli oluşturulmuştur. Kaza tahmin modeli kantitatif risk analizi yöntemi olan Fine Kinney yöntemine entegre edilerek objektif kriterlere sahip risk derecelendirme modeli geliştirilmiş ve kaza tahmin modeline dayalı denetim karar destek sistemi önerisinde bulunulmuştur. Bu kapsamda, 165 metal sektörü işyerinde yapılan iş kazası incelemeleri değerlendirilerek bir kaza veri kümesi oluşturulmuştur. Kaza veri kümesi, çok değişkenli veri analiz yöntemleri uygulanarak, 192 kaza olayı ve 39 değişkenden oluşan anlamlı ve indirgenmiş veri kümesine dönüştürülmüştür. Ardından veri kümesini en uygun şekilde yorumlayan veri madenciliği yönteminin yapay sinir ağları olduğu anlaşılması üzerine, veri kümesini öğretmek için çift katmanlı ileri beslemeli kaza tahmin modeli yapay sinir ağı geliştirilmiştir. Son olarak; kaza tahmin modeli kantitatif risk analizi yöntemiyle entegre edilerek risk derecelendirme modeli oluşturulmuş, kaza tahmin modeli temelinde çalışan denetim karar destek sistemi geliştirilmiş ve geliştirilen model ile sistem, örnek işyeri verileri kapsamında analiz edilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda bilimsel yazına katkı olarak, metal sektöründe işlevsel düzeyde yürütülen iş adımlarında mevcut olan tehlikeli durumlar için ortaya çıkabilecek kaza şiddetini tahmin eden, çok değişkenli veri analiz yöntemleri ile gerekli indirgemenin yapıldığı, sektöre ilişkin yaşanmış kazalara ait verilere ve makine öğrenimi algoritmalarına dayalı bir model geliştirilmiş, makine öğrenimini ihtiva eden objektif kriterlere dayalı

kantitatif risk analizi yöntemi temelinde bir risk derecelendirme modeli ortaya konmuş ve sektör için denetim karar destek sistemi önerisinde bulunulmuştur. Çalışma kapsamında yapılan analiz ve değerlendirmeler neticesinde aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kaza verilerine uygulanan çok değişkenli veri analiz yöntemleri sonucunda, “İşe giriş sağlık muayenesi” ve “periyodik sağlık muayenesi”, “İşe Giriş İSG Eğitimi” ve “Periyodik İSG Eğitimi”, “İş Güvenliği Uzmanı” ve “İşyeri Hekimi” değişkenlerinin birbirleriyle benzerliklerinin %80’in üzerinde olduğu anlaşılmıştır. Buradan çıkan sonuca göre işverenlerce çalışanların işe girişlerinde İSG eğitimlerinin verilmesi ve sağlık gözetimlerinin yapılması halinde, ilerleyen periyotta da bunların düzenli olarak yapıldığı, iş güvenliği profesyonellerinden birinin istihdam edildiğinde diğerinin de çoğunlukla istihdam edildiği anlaşılmıştır.
- Kaza verileri üzerinde WEKA programı ile yapılan başlangıç analizinde, verilerde en iyi performansı veren makine öğrenim algoritmasının YSA olduğu, sonraki en iyi performans verenlerin ise karar ağacı, Bayes ağı ve OneR algoritması şeklinde olduğu bulunmuştur. Ortaya çıkan bu sonucun, literatürde yapılan çalışmalarda YSA’nın karmaşık, belirli bir istatistiksel dağılıma sahip olmayan ve doğrusal olmayan verilerde başarılı olduğu teziyle uyumlu olduğu görülmüştür.
- Yapay sinir ağı temelinde geliştirilen kaza tahmin modelinin öğrenmede %75 oranında başarı seviyesini aştığı, veriden alınan örneklerle gerçekleştirilen performans testinde ise %90 oranında doğru tahmin yaptığı bulunmuştur.
- Yapay sinir ağı temelinde geliştirilen denetim karar destek sisteminin, öğrenmede %80 oranında başarı seviyesine ulaştığı, veriden alınan örneklerle gerçekleştirilen performans testinde ise yine %80 oranında doğru tahmin yaptığı bulunmuştur.
- Kaza tahmin modeli ile yapılan eksantrik pres örnek uygulamasında, sektörde önemsenmeyen tehlikelerin yüksek düzeyde riske sahip olduğu ortaya konulmuştur. Ortaya çıkan sonucun, çalışmanın amacı ile uyumlu olduğu, geliştirilen kaza tahmin modeli yapay sinir ağının sektörde mevcut olan iş adımlarında mevcut olabilecek önemli risklerin belirlenmesinde kullanılabileceği anlaşılmıştır. Ayrıca, ortaya çıkan sonuçlarda duyarlılık analizi yapılarak çalışana mesleki eğitimin sağlanması durumunda kaza şiddetinin önemli düzeyde azaltılabileceği görülmüştür.
- Risk derecelendirme modeli ile yapılan örnek uygulama sonucunda, eksantrik pres ile sütunlu matkabın operasyon bölgesine erişimin engellenmemiş olması durumunda (makine koruyucuların bulunmaması) tehlikelerinin ciddi risk skalasında bulunan 270

risk skoruna sahip olduğu bulunmuştur. Metal işyerlerinde yüksek tehlike ihtiva ettiği düşünülerek gerekli önlemlerin sıkça alındığı plazma kesim makinesinde ise tehlikeli bölgeye girişin engellenmemesi tehlikesi sonucu meydana gelebilecek risk skoru 126 olarak bulunmuştur. Bu sonuçta, çalışmanın amacını desteklemektedir. Metal sektöründe çoğunlukla önemsenmeyen basit yapıda bir iş ekipmanı olan sütunlu matkaptan kaynaklanan tehlikelerin bertaraf edilmemesi sonucu meydana gelebilecek riske ait riskin puanı, görece daha karmaşık ve tehlikeli görünen plazma kesim makinesine göre daha yüksek bulunmuştur.

- Denetim karar destek sistemi ile yapılan örnek işyeri uygulamasında, insan faktörlerinin işyerlerindeki ciddi kazaların ortaya çıkmasında önemli bir faktör olduğu anlaşılmıştır. Özellikle, çalışanlarda gerekli iş sağlığı ve güvenliği bilincinin yer edilmesi sağlanarak gereken özen ve dikkati göstererek çalışma yaptıkları durumlarda kaza şiddetinin önemli ölçüde azaldığı anlaşılmıştır.
- Çalışma sonucunda geliştirilen risk derecelendirme yöntemi kullanılarak risklerin derecelendirmesi sonucunda, oluşturulacak bir düzeltici ve önleyici faaliyet tablosu ile risklerin önlenmesi için hangi önleyici tedbirlerin alınacağını belirlenebileceği, bu şekli ile yöntemin metal sektörü için bir risk analizi yöntemi olarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir.
- Çalışma sonucunda geliştirilen objektif kriterlere dayalı kantitatif risk derecelendirme yönteminin, bilimsel literatürde yer alan çalışmalarda kişisel görüşlerin ortaya koyduğu sübjektif yönelimleri önlediği, ayrıca yöntemin duyarlılık analizleri yapılmasına olanak sağladığı, böylece ortaya çıkabilecek risklerin farklı durumlara göre analiz edilmesine zemin sağladığı sonucuna varılmıştır.
- Çalışma sonucunda önerilen denetim karar destek sisteminin, metal sektöründe faaliyet gösteren işyerlerinde yapılacak gözetimler neticesinde belirlenen tehlikeli durumların belirlenmesi ile işyerlerindeki olası risk seviyesini belirleyebilecek ve insan kaynağını etkin kullanarak riskli işyerlerinde tedbirlerin alınmasında öncelik verilmesi için karar desteği sağlayacak bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.

Ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili çalışmalar, son dönemde önemli seviyede gelişme göstermiş olsa da, yine de istenen seviyede değildir. Metal sektöründe, kullanılmakta olan ve günümüz koşullarının gerekliliklerine uygun olmayan risk analiz yöntemleriyle, gereğince tehlikeler belirlenememekte ve düzeltici önlemler alınamamaktadır. Özellikle, işyerlerinde görevlendirilen veya istihdam edilen iş sağlığı ve

güvenliği profesyonellerine bu konuda önemli görevler düşmektedir. Profesyoneller tarafından toplanacak saha verileri ile çalışma kapsamında önerilen yöntem ile yorumların katılmadığı risk analizi çalışmaları yapılması, bilhassa metal sektörü için önemli bir kazanım olacaktır.

Çalışma kapsamında yapılan analizler ve ortaya çıkarılan sonuçlar kapsamında, ortaya konulan öneriler aşağıda belirtilmiştir:

- Risk algısında genel olarak yer etmiş olan sübjektif yargının, yerini objektif kriterlere bırakması, ciddi kazalara sebebiyet verecek risklerin önlenmesi açısından önemlidir. Eğer bu mümkün değilse, yeterli tecrübeye sahip uzman bir ekip tarafından risk analizinin yapılması sağlanmalıdır.
- Metal sektörü işyerlerinde, basit yapıya sahip iş ekipmanları ve basit iş adımlarında bulunan tehlikeler önemsiz görünmesine rağmen, ciddi risklere neden vermektedirler. Bu nedenle, sektörde mevcut olan düşük öneme sahip tehlikeler, etkin risk derecelendirme yöntemleri kullanılarak irdelenmelidir.
- İşyerlerinde meydana gelen iş kazalarının temelinde insan hataları bulunmaktadır. Bu nedenle, işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği bilincinin yer etmesi için yürütülecek programların, birçok teknik tedbirden daha önemli olduğu unutulmamalıdır.
- İş sağlığı ve güvenliği profesyonellerini bünyesinde istihdam eden birimler olan ortak sağlık ve güvenlik birimleri, aralarında kuracakları iletişim ile kendi iş kazaları ile ramak kala olaylara ait veri tabanlarını oluşturmalarıdır. Bu şekilde, oluşturulan veri tabanları üzerinden yapılacak analizler ile işyerlerinde mevcut olan riskleri belirlemeye yönelik önemli çalışmalar yapabileceklerdir. Ayrıca birimler yine bu veri tabanlarını kullanarak, işyeri risk haritalarını oluşturabilecek ve kaza potansiyelinin yüksek olduğu işyerlerinde önleyici tedbirlerin acilen alınması hususunda gerekli planlamayı yapabileceklerdir.
- Çalışma kapsamında metal sektörü içerisinde yer alan *Ana Metal Sanayi ve Fabrikasyon Metal Ürünleri İmalatı (makine ve teçhizat hariç)* bölümlerine ilişkin veriler dikkate alınmıştır. Çalışmada kullanılan yöntemin, metal sektörünü dolaylı olarak ilgilendiren *Makine ve Teçhizat İmalatı* ile *Motorlu Kara Taşıtı İmalatı* gibi sektörlere de uygulanması, ileriye yönelik faydalı bir çalışma olacaktır.

- Çalışmada önerilen yöntemlerin iş kazaları sayısının yüksek olduğu yapı ve madencilik sektörlerine de, sektörlerden toplanacak kaza verileri dikkate alınarak uygulanması ileriye yönelik önemli bir çalışma olacaktır.
- Çalışmada elde edilen sonuçlara göre; Bayes Ağları ve Karar Ağacı gibi diğer yöntemlerin de yapay sinir ağlarına yakın başarı gösterdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca yapılan çalışmada, yapay sinir ağlarının başarısının mevcut veri kümesine bağlı olduğu dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, metal sektöründe başka veri kümeleri ile yapılacak çalışmalarda, özellikle Bayes Ağları gibi gelişmiş veri madenciliği yöntemlerinin de uygulanarak, tahmin sonuçlarının yapay sinir ağları tahmin sonuçları ile kıyaslanması ilerleyen dönem için katkı yaratacak bir araştırma olacaktır.
- Zheng ve Liu (2009) tarafından yapılan çalışmada, birden fazla makine öğrenim algoritmasının kullanıldığı hibrit yöntemlerin, karmaşık değişkenlere sahip verilerde yüksek performansa sahip tahmin sonuçları verdiği belirtilmiştir. Bu nedenle metal sektörüne ait veri kümelerinde, yazarlar tarafından önerilen hibrit yöntemlerin kullanıldığı tahmin yöntemleri temelinde kurulacak risk derecelendirme modelinin kullanılması, ileriye yönelik yapılacak bir çalışma için önerilmektedir.
- Yapılan çalışmada metal sektöründe çalışanların maruz kaldığı fizyolojik (gürültü, titreşim, termal konfor, aydınlatma, vb.) ve psikolojik (dalgınlık, yorgunluk, iş baskısı, zihinsel iş yükü, vb.) faktörler dikkate alınmamıştır. İleriye dönük olarak yapılacak bir risk derecelendirmesi çalışmasında bu faktörlerin de değişkenler olarak dikkate alınması sektör için önemli bir kazanım olacaktır.
- Yapılan literatür araştırmasında, son yıllarda kantitatif risk analizi yöntemlerinin çoğunlukla bulanık mantık ile entegre edildiği görülmektedir. Çalışmada kullanılan makine öğrenimi algoritmaları ile bulanık mantık yöntemlerinin bir arada kullanılmasıyla geliştirilebilecek kantitatif yöntemlerin, risk algısındaki sübjektif yargının önlenmesi için ileriye dönük olarak bir çalışmada kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akgüngör, A. P. ve Doğan, E. (2010). Farklı Yöntemler Kullanılarak Geliştirilen Trafik Kaza Tahmin Modelleri ve Analizi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2(1), 16-22.
- Alaeddinoğlu, M. F., Sincar, S. ve Naralan, A. (2015). İş Sağlığı ve Güvenliğinde Risk Analizi ve Değerlendirmesi için Geliştirilmiş Bir Karar Destek Sistemi (Yapay Sinir Ağı)-Atatürk Üniversitesi Örneği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 275-291.
- Alli, B. (2008). *Fundamental Principles of Occupational Health and Safety*. (Second Edition). Geneva: International Labour Organization (ILO), 7.
- Bellamy, L. J., Damen, M., Manuel, H. J., Aneziris, O. N., Papazoglou, I.A., and Oh, J. I. H. (2015). Risk horoscopes: Predicting the number and type of serious occupational accidents in The Netherlands for sectors and jobs. *Reliability Engineering and System Safety*, 133, 106-118.
- Birgören, B. (2017). Fine Kinney Risk Analizi Yönteminde Risk Faktörlerinin Hesaplama Zorlukları ve Çözüm Önerileri. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 9(1), 1-7.
- Ceylan, H. ve Avan, M. (2012). Türkiyede'ki İş Kazalarının Yapay Sinir Ağları ile 2025 Yılına Kadar Tahmini. *International Journal of Engineering Research and Development*, 4(1), 46-54.
- Chang, L. (2005). Analysis of freeway accident frequencies: Negative binomial regression versus artificial neural network. *Safety Science*, 43, 541-557.
- Cheng C., Yao, H., and Wu, T. (2013). Applying data mining techniques to analyze the causes of major occupational accidents in the petrochemical industry. *Journal of Loss Prevention in Process Industries*, 26, 1269-1278.
- Cornero, M.C., and Pedregal, D.J. (2010). Modelling and forecasting occupational accidents of different severity levels in Spain. *Reliability Engineering and System Safety*, 95, 1134-1141.
- Dizdar, E.N. (2008). *İş Güvenliği* (Dördüncü Baskı). Türkiye: Murathan Yayınevi, 231-232.
- Dizdar, E.N. ve Koçar, O. (2018). İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönetim Sistemlerinde Risklerin Yapay Sinir Ağlarıyla Değerlendirilmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6-3, 73-83.
- ELMAS, Ç. (2003). *Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama)* (Birinci Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık, 25.
- Enez, K., Topbas, M., and Acar, H.H. (2014). An evaluation of the occupational accidents

- among logging workers within the boundaries of Trabzon Forestry Directorate, Turkey. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 44, 621-628.
- Ericson, C.A. (2005). *Hazard Analysis Techniques for System Safety* (Birinci Baskı). New Jersey: John Wiley and Sons, 183, 223, 478.
- Ersoy, M., Çelik, M.Y., Yeşilkaya, L., ve Çolak, O. (2018) (Kabul edilmiş makale). İş sağlığı ve güvenliği problemlerinin çözümünde fine-kinney ve gia yöntemlerinin entegrasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi Dergisi*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.17341%2Fgazimmfd.416534&date=2019-01-20> Son Erişim Tarihi: 20.01.2019
- Fine, W. T., and Kinney, W. D. (1971). Mathematical evaluation for controlling hazards. *Journal of Safety Research*, 3(4), 157-166.
- Gül, M., Güven, B., and Güneri, A.F. (2018). A new Fine-Kinney-based risk assessment framework using FAHPFVIKOR incorporation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 53, 3-16.
- Hajakbari, M.S., and Minaei-Bidgoli, B. (2014). A new scoring system for assessing the risk of occupational accidents: A case study using data mining techniques with Iran's Ministry of Labor data. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 32, 443-453.
- Health and Safety Executive. (2006). *Identifying and evaluating the social and psychological impact of workplace accidents and ill-health incidents on employees*. (Araştırma Raporu 464). Norwich: Human Reliability Associates Ltd for the Health and Safety Executive, 3.
- Herrero, S., Mariscal M.A., Rodriguez, J., and Ritzel, D. (2012). Working onditions, psychological/physical symptoms and occupational accidents. Bayesian network models. *Safety Science*, 50, 1760-1774.
- Hoj, N. P., and Kröger, W. (2002). Risk analyses of transportation on road and railway from a European perspective. *Safety Science*, 40(1-4), 337-357.
- Ilbahar, E., Karaşan, A., Cebi, S. ve 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.
- ILO (International Labour Organization). (2005). *Code of practice on safety and health in the iron and steel company*. Geneva: International Labour Office, 16-17.
- İnternet: Educba. (2018). Differences Between Data Mining and Machine Learning. <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.educba.com%2Fdata-mining-vs-machine-learning%2F&date=2018-12-30>, Son Erişim Tarihi: 30.12.2018.
- İnternet: Kriesel, D. (2007). A Brief Introduction to Neural Networks. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.dkriesel.com%2F_m

[edia%2Fscience%2Fneuronale-netze-en-zeta2-2col-dkrieselcom.pdf&date=2018-12-30](http://www.mathworks.com/help/deeplearning/fgs/shallow-networks-for-pattern-recognitionclustering-and-time-series.html%3Bjsessionid%3D392b880142d292fe98b55cca48d4&date=2018-12-30), Son Erişim Tarihi: 30.12.2018.

İnternet: MathWorks. (2018). Shallow Networks for Pattern Recognition, Clustering and Time Series R2018b. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.mathworks.com%2Fhelp%2Fdeeplearning%2Ffgs%2Fshallow-networks-for-pattern-recognitionclustering-and-time-series.html%3Bjsessionid%3D392b880142d292fe98b55cca48d4&date=2018-12-30> Son Erişim Tarihi: 30.12.2018.

İnternet: Occupational Safety and Health Administration. (2018). Incident Investigation. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.osha.gov%2Fdcsp%2Fproducts%2Ftopics%2Fincidentinvestigation%2Findex.html&date=2018-12-30>, Son Erişim Tarihi: 30.12.2018.

İnternet: Sosyal Güvenlik Kurumu [SGK] İstatistik Yıllıkları. 2010-2016. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.sgk.gov.tr%2Fwps%2Fportal%2Fsgk%2Ftr%2Fkurumsal%2Fistatistik%2Fsgk_istatistik_yilliklari&date=2018-12-30, Son Erişim Tarihi: 30.12.2018.

İş Teftiş Kurulu Başkanlığı. (2011). *İş Teftiş Kurulu Başkanlığı Metal Sektöründe Çalışan İşçilerin Çalışma Koşullarının İyileştirilmesi Programlı Teftişi Sonuç Raporu*. (Yayın No:49). Ankara: T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, 15.

Johnson, R.A., and Wichern, D.W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis* (Sixth Edition). New Jersey: Prentice Hall, 430, 445, 481-526.

Karaboğa, Ö. (2014). *Metal Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Fayda-Maliyet Açısından İncelenmesi*, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 4.

Kinney, G.F., and Wiruth, A.D. (1976). Practical risk analysis for safety management. *NWC Technical Publication No:5865 June 1976*, Naval Weapons Center, China Lake California, USA, 1-20.

Koç, U. (2014). *Yapı Üretiminde Hayati Risklerin Analizi ve Denetimine ilişkin Bir Araştırma*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 76-79.

Kokangül, A., Polat, U., and Dağsuyu, C. (2017). A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies. *Safety Science*, 91, 24-32.

Lavine, B. K., and Blank, T. R. (2009). Feed-Forward Neural Networks. *Comprehensive Chemometrics Chemical and Biochemical Data Analysis*. 571-586.

Marhavilas, P.K., Koulouriotis, D., and Gemeni, V. (2011). Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009. *Journal of Loss Prevention in Process Industries*, 24, 477-523.

- Marhavilas, P.K., and Koulouriotis, D.E.. (2008). A risk-estimation methodological framework using quantitative assessment techniques and real accidents' data: Application in an aluminum extrusion industry, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 21, 596–603.
- Mitchell, T. M. (1997). *Machine Learning* (Birinci Baskı). New York: McGraw Hill, 85, 97.
- Nenonen, N. (2013). Analysing factors related to slipping, strumbling, and falling accidents at work: Application of data mining methods to Finnish occupational accidents and diseases statistics database, *Applied Ergonomics*, 44, 215-224.
- Oturakçı, M. ve Dağsuyu, C. (2017). Risk Değerlendirmesinde Bulanık Fine-Kinney Yöntemi ve Uygulaması. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 1(1), 17-25.
- Oturakçı, M., Dağsuyu, C., and Kokangül, A. (2015). A new approach to fine kinney method and an implementation study, *The Journal of Operations Research, Statistics, Econometrics and Management Information Systems*, 3(2), 83-92.
- Öztemel, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları* (Üçüncü Baskı). İstanbul: Papatya Yayıncılık, 57-58.
- Ramesh, R., Prabu, M., Magibalan, S., and Senthikumar, P. (2017). Hazard Identification and Risk Assessment in Automotive Industry. *International Journal of ChemTech Research*, 10(4), 352-358.
- Reniers, G.L.L., Dullaert, W., Ale, B.J.M., and Soudan, K. (2005). The use of current risk analysis tools evaluated towards preventing external domino accidents, *Journal of Loss Prevention in Process Industries*, 18, 119-126.
- Silva, J.F., and Jacinto, C. (2012). Finding occupational accident patterns in the extractive industry using a systematic data mining approach, *Reliability Engineering and System Safety*, 108, 108-122.
- Şengöz, M.C. ve Merdan, M. (2017). Fine-Kinney risk analizi metoduyla, İşyerlerinde elektrik nedenli yangınların önlenmesinde yeni bir yöntem. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(3), 24-87.
- Tunay, M. ve Bozkurt, A. (2018). Ormancılık çalışmalarında iş güvenliği analizinin uygulanması (Karabük orman işletmesi örneği). *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(1), 124-129.
- Tutar, H. (2010). *Yönetim Bilgi Sistemi* (Birinci Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık, 251.
- Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK]. (2015). *NACE Rev.2 – Altılı Ekonomik Faaliyet Sınıflaması*. Ankara: Türkiye İstatistik Kurumu, 5, 70-79.
- Van der Voort, M. M., Klein, A. J. J., de Maaijer, M., van den Berg, A. C., Van Deursen, J. R., and Versloot, N. H. A. (2007). A quantitative risk assessment tool for the external safety of industrial plants with a dust explosion hazard. *Journal of*

Loss Prevention in the Process Industries, 20(4-6), 375-386.

Wang, W., Liu, X., and Qin, Y. (2018). A fuzzy Fine-Kinney-based risk evaluation approach with extended MULTIMOORA method based on Choquet integral. *Computers & Industrial Engineering*, 125, 111–123.

Witten, I.H., and Frank, E. (2000). *Data Mining* (First Edition). San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1-9, 210-211, 212, 265-267.

Yokoyama, K., Iijima, S., Ito, H., and Kan, M. (2014). The Socio-Economic Impact of Occupational Diseases and Injuries. *Industrial Health*, 51(5). 459-61.

Yong, A. G., and Pearce, S. (2013). A Beginner's Guide to Factor Analysis: Focusing on Exploratory Factor Analysis. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 9(2), 79-94.

Zheng, X., and Liu, M.. (2009). An overview of accident forecasting methodologies, *Journal of Loss Prevention in Process Industries*, 22, 484-491.

EKLER

(Ekler Tezin arka kapağında CD ortamında verilmiştir.)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AYANOĞLU, Cemal Can
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.07.1980, Kırıkkale
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 296 76 14
 e-mail : ccan_ayan@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	O. D. T. Ü. / Endüstri Mühendisliği	2007
Lisans	Atılım Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği	2003
Lise	Kırıkkale Anadolu Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-Halen	Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bak.	İş Müfettişi
2005-2009	Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı	İSG Uzmanı

Yabancı Dil

İngilizce (YDS: B)

Yayınlar

- Ayanoğlu, C.C., Kurt, M. (2019) (Baskıda). Metal sektöründe veri madenciliği yöntemleri ile bir iş kazası tahmin modeli önerisi, *Ergonomi*.
- Ayanoğlu, C. C. (2014). Seveso II direktifi kapsamında güvenlik yönetim sistemleri, *ÇSGB Çalışma Dünyası Dergisi*, 2(2), 66-83.
- Ayanoğlu, C. C. (2009). Bir sanayi işletmesinde ergonomik risk değerlendirme uygulaması, *İSG Dergisi*, 9(41), 33-45.
- Ayanoğlu, C. C. (2007). *A location-routing problem for the municipal solid waste management system*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Hobiler

Otomotiv, Bilgisayar Teknolojileri, Seyahat

DİZİN

A

ARFF · ix, xiv, 51

Aykırı veri analizi · 45

Ç

Çok değişkenli veri analizi · iv, 33, 89, 90

D

Denetim karar destek sistemi · ix, xi, xii, xiii, xiv, 68, 69, 70, 71, 72, 85, 86, 87, 88

F

Faktör analizi · x, 45, 46, 47

Fine Kinney yöntemi · iv, v, vii, x, xi, xiv, 3, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 82, 83, 89, 95, 97

I

ILO · xiv, 5, 95, 96

İ

İleri beslemeli yapay sinir ağı · 27

İş kazası · x, 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 25, 33, 34, 35, 37, 38, 41, 42, 43, 53, 54, 59, 65, 67, 68, 70, 71, 75, 80, 81, 85, 86, 87, 89

İş sağlığı ve güvenliği · xiv, 1, 2, 6, 24, 37, 47, 50, 74, 78, 79, 80, 90, 150

İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu · 1, 2, 8, 12, 14, 41, 42, 76

K

Kantitatif · iv, 2, 3, 15, 18, 19, 22, 31, 32, 89, 90, 91, 93

Kaza Tahmin Yöntemi · iv, x, xi, xii, xiii, 2, 3, 25, 31, 32, 33, 46, 50, 51, 52, 53, 54, 59, 60, 67, 71, 73, 74, 75, 76, 80, 81, 83, 89, 90

KKD · xiv, 41, 47, 63, 64, 66, 69, 78, 80, 82, 83, 84

Kümeleme yöntemi · xii, 35, 48, 49, 50

M

Makine öğrenimi · iv, vii, viii, 2, 3, 24, 25, 31, 33, 50, 52, 89, 90, 93

MATLAB · ix, xiv

MSRDM · xii, xiv, 60, 61, 62, 71, 81

N

NACE · x, xiv, 6, 7, 8, 9, 11, 98

Nöron · xii, 56, 71

O

Objektif risk değerlendirmesi · iv, 2, 19, 22, 89, 91, 92

Oransal risk değerlendirmesi · xiv, 17,
19, 22

P

Perceptron · xii, 27, 28, 29

R

Risk araştırması ve değerlendirmesi · xiv,
15, 16, 19

Risk Değerlendirmesi · iv, vii, xiv, 2, 3,
13, 14, 17, 18, 19, 23, 35, 42, 78, 81

S

SPSS · xiv, 34, 62

T

Temel bileşenler analizi · xiv, 43, 44, 45,
46, 47, 50

V

Veri madenciliği · vii, viii, 24, 33

W

WEKA · ix, x, xiv, 51, 52, 55, 90

Y

Yapay sinir ağları · x, xi, xii, xiv, 26, 27,
30, 31, 32, 33, 35, 52, 53, 54, 55, 56,
57, 58, 62, 71, 72, 73, 75, 80, 85, 89,
90



GAZİ GELECEKTİR..